



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

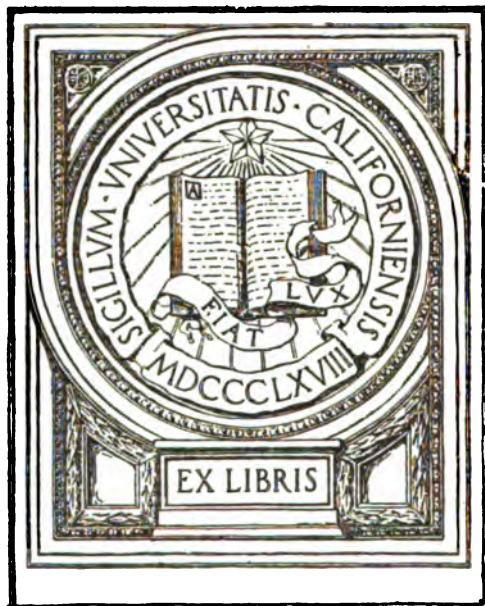
We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

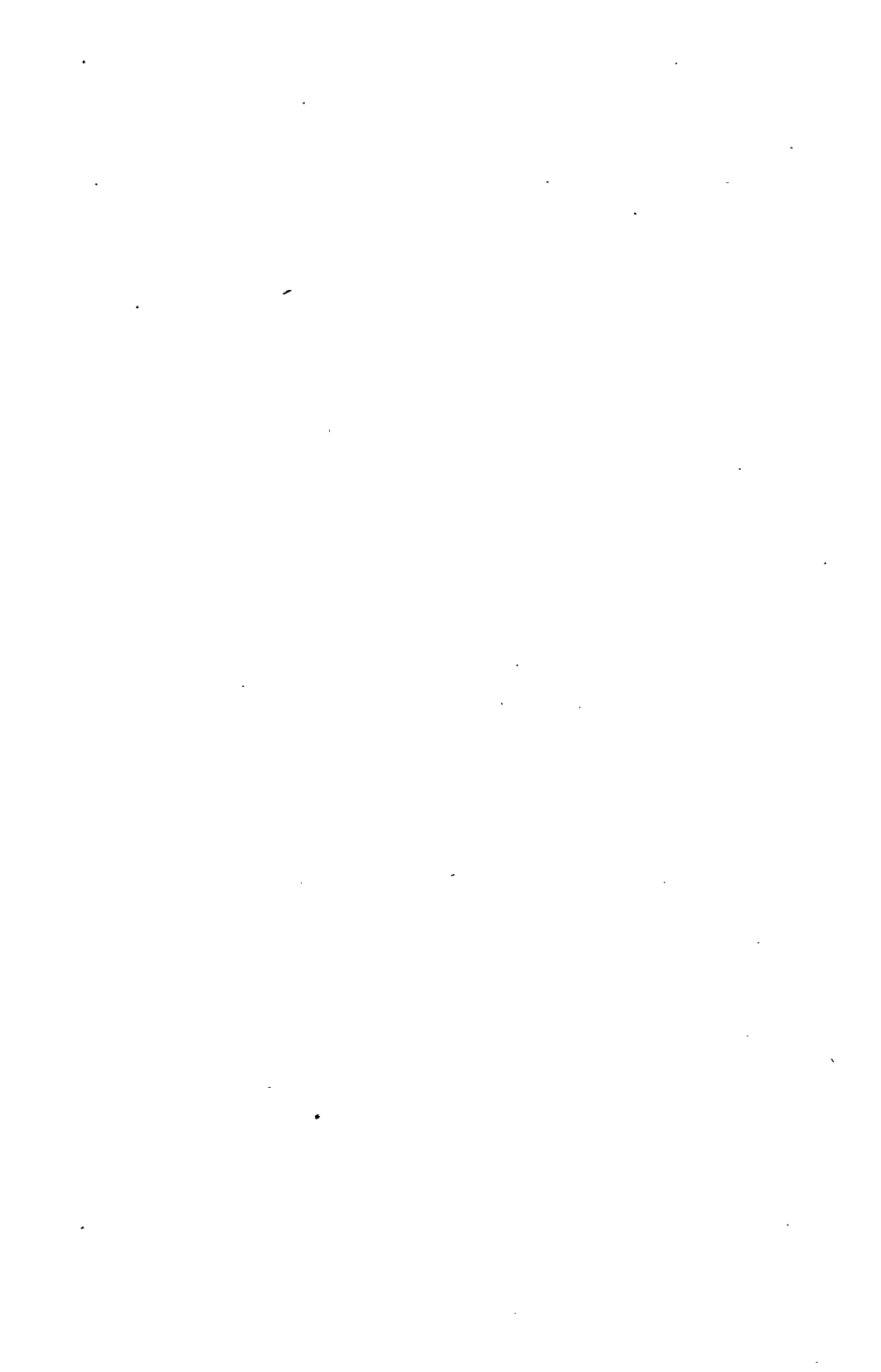
About Google Book Search

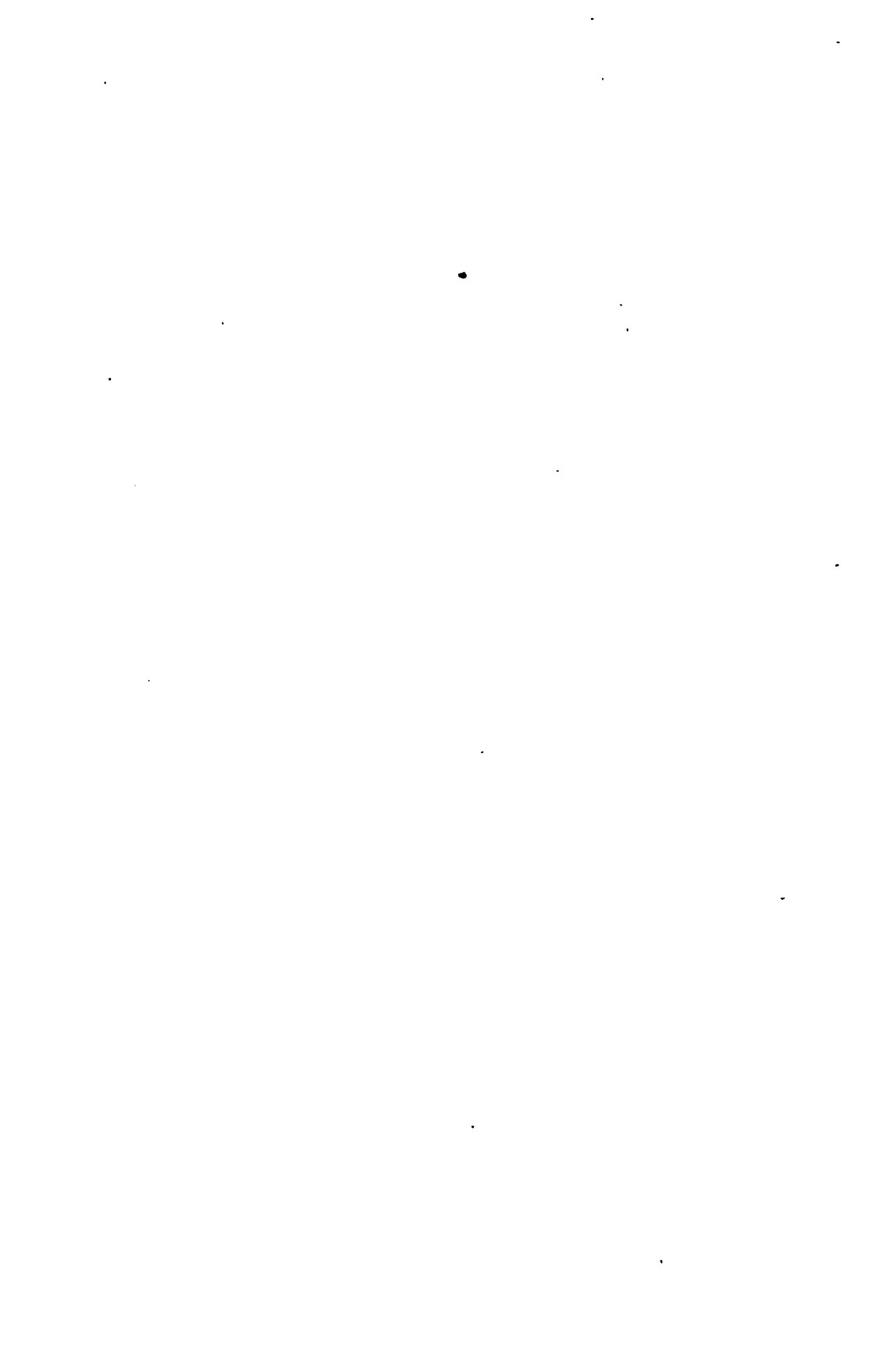
Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>

**MEDICAL SCHOOL
LIBRARY**



EX LIBRIS





SKANDINAVISCHES ARCHIV FÜR PHYSIOLOGIE.

UNTER MITWIRKUNG VON

PROF. DR. S. TORUP IN CHRISTIANIA, PROF. DR. K. G. HÄLLSTÉN, PROF. DR. E. A. HOMÉN
UND PROF. DR. E. E. SUNDBLAD IN HELSINGFORS, PROF. DR. CHR. BOHR IN KOPENHAGEN, PROF.
DR. M. BLIX IN LUND, PROF. DR. J. E. JOHANSSON, PROF. DR. S. JOLIN, PROF. DR. K. A. H. MÖRNER
UND PROF. DR. C. G. SANTESSON IN STOCKHOLM, PROF. DR. O. HAMMARSTEN UND
PROF. DR. HJ. ÖHRWALL IN UPPSALA

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. ROBERT TIGERSTEDT,

O. Ö. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT HELSINGFORS.

ELFTER BAND.

MIT ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN IM TEXT.



LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.

1901.

•
Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

ULAS TO VIRU
VIRU JACOB

I n h a l t.

	Seite
KARL EKHOJLM, Studien über den Nahrungsbedarf des erwachsenen ruhenden Mannes	1
H. CHR. GEELMUYDEN, Untersuchungen über Acetonkörper	97
V. O. SIVÉN, Zur Kenntniss der Harnsäurebildung im menschlichen Organismus unter physiologischen Verhältnissen	123
V. HENRIQUES und C. HANSEN, Vergleichende Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung des thierischen Fettes	151
H. J. BING, Ueber Lecithinverbindungen	166
GUNNAR KORAEN, Ueber den Einfluss der Nahrungsaufnahme auf den Stoffwechsel	176
C. G. SANTESSON und Stud. med. E. CEDERLÖW, Ueber ein recreationsähnliches Phänomen bei der Curarewirkung gewisser Gifte	198
ROBERT TIGERSTEDT, Eine Methode, um den Kohlensäuregehalt in kleinen Blutmengen zu bestimmen	217
C. G. SANTESSON, Kurze pharmakologische Mittheilungen	228
HJALMAR ÖNREWALL, Die Modalitäts- und Qualitätsbegriffe in der Sinnesphysiologie und deren Bedeutung	245
J. E. JOHANSSON, Untersuchungen über die Kohlensäureabgabe bei Muskelthätigkeit	273
V. O. SIVÉN, Zur Kenntniss des Stoffwechsels beim erwachsenen Menschen, mit besonderer Berücksichtigung des Eiweissbedarfs	308
C. G. SANTESSON, Nochmals über die Ermüdbarkeit des Muskels und seiner motorischen Nervenendigungen	333
C. G. SANTESSON und E. CEDERLÖW, Kurze pharmakologische Mittheilungen	342
ARTHUR CLOPATT, Ueber die Einwirkung des Alkohols auf den Stoffwechsel des Menschen	354
GEORG VON WENDT, Beiträge zur Kenntniss der Strukturveränderungen der Ganglienzellen unter der Einwirkung stärkerer Inductionsströme	372
TORSTEN THUNBERG, Untersuchungen über die relative Tiefenlage der kälte-, wärme- und schmerzpercipirenden Nervenenden in der Haut und über das Verhältniss der Kältenervenenden gegenüber Wärmereizen . . .	382



Studien über den Nahrungsbedarf des erwachsenen ruhenden Mannes.¹

Von

Karl Ekholm,

Wasa, Finnland.

Aus dem physiologischen Laboratorium des Carolinischen medico-chirurgischen Institutes in Stockholm.

I. Geschichtliche Einleitung.

Dass eine gute und genügende Nahrung die Stimmung und Leistungsfähigkeit des Menschen mächtig hebt, ist eine uralte Erfahrung. „Panis et circenses“ vermochte das römische Strassengesindel zu erheitern und zu beruhigen. Eine ungenügende Nahrung wieder macht träge, misstrauisch, zur Arbeit unlustig.

Die Bedingungen der menschlichen Ernährung zu erforschen und darzulegen, muss mithin als eine sehr wichtige social-hygienische Aufgabe betrachtet werden.

Es hat doch bis in die letzte Zeit gedauert, ehe die staatlichen Behörden dieser Frage ihre Aufmerksamkeit gewidmet haben, und die Kenntnisse der menschlichen Ernährungslehre, die wir besitzen, sind aus den Studierzimmern und Laboratorien einzelner Forscher durch aufopfernde Arbeit hervorgegangen. Ihren Bemühungen zu Folge können wir jetzt in Bezug auf den Nahrungsbedarf des Menschen an die Stelle der Bezeichnung „Hunger“ und „Sättigung“ bestimmte Werthangaben setzen.

Der Erste, welcher die Ernährung quantitativ zu bestimmen versuchte, war Sanctorius (63). Er stellte mit der Waage die Einnahmen und Ausgaben des Körpers fest und ermittelte, dass der Körper, ohne sichtbar an Substanz zu verlieren, beständig an Gewicht abnimmt. Die Differenz des Anfangsgewichtes und der Nahrung einer-

¹ Der Redaction am 20. April 1900 zugegangen.

seits und des Endgewichtes und der sensiblen Ausgaben durch Harn und Koth andererseits stellte die „Perspiratio insensibilis“ dar.

Die von Sanctorius eingeführten Stoffwechselgleichungen wurden nachher durch Arbeiten vieler Forscher fortgesetzt. Doch trugen sie wenig bei die Ernährungsverhältnisse des Körpers aufzuklären, so lange es an tieferer Kenntniss der Lebensprocesse und der Zusammensetzung der Einnahmen und Ausgaben des Organismus mangelte. Die Triebkraft der mannigfaltigen Erscheinungen des Lebens zu entdecken, war aber erst dem durchdringenden Geiste Lavoisier's vorbehalten.

In seinen „Expériences sur la respiration des animaux“ 1777 (30. t. II. p. 174) zeigte er, wie bei der Calcination des Quecksilbers „la partie la plus respirable de l'air“ verschwindet und „la partie non respirable“ bleibt. Dieselben Veränderungen brachte ein in einem gemessenen Volumen atmosphärischer Luft eingeschlossenes Thier hervor, allerdings mit der Verschiedenheit dass, während im ersteren Experiment das Luftquantum um $\frac{1}{6}$ Theil vermindert wurde, im letzteren Fall nur eine ganz unbedeutende Luftverminderung stattfand. Stellte er aber ein Gefäss mit Kalkwasser in diesen Luftraum hinein, präcipitirte das Wasser, und die nämliche Luftverminderung erschien. Die übrig bleibende Luft war zur Respiration untauglich und verhielt sich sonst ganz wie die nach der Calcination des Quecksilbers restirende.

Durch fortgesetzte Untersuchungen stellte er die Zusammensetzung der Kohlensäure fest und wies nach, dass neben Kohlensäure auch Wasser bei der Respiration der Thiere gebildet wurde.

Im Verein mit Laplace (30. t. II. p. 318) fand er durch directe Versuche, dass die thierische Wärme wenigstens zum grossen Theil bei der Respiration durch die Verbindung des Sauerstoffes mit Kohlenstoff des Körpers gebildet wurde. Und schliesslich konnte er in seiner mit Seguin (30. t. II. p. 688) veröffentlichten „Mémoire sur la respiration des animaux“ sich folgendermaassen aussprechen: „Les animaux qui respirent, sont de veritables corps combustibles qui brulent et se consomment. Dans la respiration, comme dans la combustion, c'est l'air de l'atmosphère qui fournit l'oxygène et le calorique; mais, comme dans la respiration, c'est la substance même de l'animal, c'est le sang qui fournit le combustible, si les animaux ne réparaient pas par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile manquerait bientôt à la lampe, et l'animal périrait.“

Während also Lavoisier die Zusammensetzung der Respirationsluft und die Dynamik des Lebens aufklärte, war man über die näheren Bestandtheile der Nahrung und überhaupt der Stoffe in der organischen Welt noch ganz im Unklaren.

Noch im Anfange des 19. Jahrhunderts hielt man an der hippokratischen Lehre fest und glaubte, dass in allen Nahrungsmitteln nur ein einziger Nährstoff, ein „Alimentum, quod nutrit“ enthalten sei. Erst mit den Untersuchungen Magendie's fingen solche Vorstellungen zu weichen an.

Schon vor ihm hatte es sich doch herausgestellt, dass der Körper aus stickstoffhaltigen und stickstofffreien Stoffen zusammengesetzt war. Magendie (33) wies nun durch Experimente an Thieren die Wahrscheinlichkeit nach, dass der Stickstoffbedarf des Organismus durch die Nahrung gedeckt wird, weil Thiere mit einer N-freien Kost nicht auskommen. Der Stickstoff wird mithin nicht aus der Atmosphäre genommen, noch weniger durch die Lebenskraft gebildet, wie man früher anzunehmen sich nicht gescheut hatte.

Viel besser als Magendie vermochte Liebig (32) die Bedeutung der Nahrung zu würdigen. Die nicht zum geringen Theil von ihm selbst gemachten Entdeckungen auf dem Gebiete der organischen Chemie lehrten ihn, dass die Gebilde des thierischen Körpers von den nämlichen N-haltigen Verbindungen aufgebaut sind, die sich in den Eiweissstoffen der Nahrung vorfinden. Die Lebensthätigkeit ist nach ihm ein chemischer Process, durch welchen die Gebilde des Körpers zersetzt und durch das Eiweiss der Nahrung wieder ersetzt werden. Doch kommt der Nahrung nicht nur die Fähigkeit zu, die verbrauchten Organe aufzubauen, sie dient auch bei ihrem Uebergang in Sauerstoffverbindungen als Wärmeerzeuger, und als Wärmeerzeuger, als Schutzmittel unserer Organe vor der Einwirkung des Sauerstoffes haben die N-freien Nährstoffe ihre alleinige Bedeutung. Welche Rolle sie auch im Haushalt des Organismus spielen, schliesslich werden doch alle aufgenommenen Bestandtheile der Speisen durch den dem Blute zugeführten Sauerstoff oxydirt und treten theils als Kohlensäure und Wasser durch Haut und Lungen aus, theils werden sie als Harnstoff und Harnsäure mit dem Harn entleert.¹

Die Excrete stehen in einem bestimmten Verhältniss zu dem Verbräuche an Stoffen im Körper und geben uns ein Maass für das Nahrungsbedürfniss. „Wenn alle Körpertheile des lebendigen Thieres“, sagt Liebig, „ihren Zustand unvermindert behaupten sollen, so muss die Nahrung gleich sein den unter Mitwirkung des Sauerstoffes aus dem Organismus ausgetretenen und verbrannten Stoffen.“

Die von Liebig an die Spitze der Stoffwechseluntersuchungen

¹ Den Koth betrachtete Liebig als unverdaute oder unverdauliche Nahrungsreste enthaltend.

gestellte quantitative Analyse der Ausgaben wurde ein mächtiger Hebel die Fortschritte der Ernährungslehre zu fördern.

An Bestimmungen einzelner Ausscheidungen des Körpers fehlte es zu Liebig's Zeiten nicht. Die ersten quantitativen Untersuchungen über den Gasaustausch führten Lavoisier und Seguin aus. Andral und Gavarret (2), Scharling (64) und Andere bestimmten die CO_2 -Abgabe des Menschen. Regnault und Reiset (52) beobachteten den O-Verbrauch und die CO_2 -Production der Thiere unter verschiedenen Verhältnissen. Die Gasanalysen konnten doch nicht zu Stoffwechselbilanzen verworthen werden, da man nicht wusste, welche Stoffe zu ihrer Production beigetragen hatten.

Der Erste, welcher die Einnahmen und die festen und flüssigen Ausgaben des Körpers der Elementaranalyse unterwarf, war Boussingault (12).

Mit Zuhülfenahme des Körpergewichtes und der Elemente der Einnahmen und sichtbaren Ausgaben suchte er die gasförmigen durch Haut und Lungen zu berechnen und stellte Stoffwechselgleichungen auf. Er glaubte, dass es durch solche Untersuchungen möglich wäre, „dans l'étude des phénomènes de la vie des progrès rapides“ zu machen. Barral (7) und Andere führten Untersuchungen nach der Boussingault'schen Methode an Menschen aus. So werthvoll Untersuchungen dieser Art auch waren, wurden doch aus Ursachen, welche wir später werden kennen lernen, die Hoffnungen ihres Urhebers nicht erfüllt.

Gleichzeitig wurden die aufgenommene Nahrung und alle Ausscheidungen des Körpers von Bidder und Schmidt bei ihren Stoffwechseluntersuchungen an Katzen berücksichtigt. In wochenlangen Versuchen analysirten sie mit unermüdlichem Fleiss die Einnahmen und Ausgaben, wie die CO_2 -Production während einer Stunde zu verschiedenen Zeiten des Tages.

In ihren Hungerversuchen ergab sich beim Vergleich der binnen gleicher Zeit ausgeathmeten CO_2 und im Harn ausgeschiedenen N-Mengen ein viel bedeutenderes C-Quantum als das in dem N äquivalenten Eiweisse vorhandene. Diesen Ueberschuss leiteten sie aus der Oxydation des Fettes ab und fanden die Richtigkeit ihrer Deduction durch das Schwinden des Fettes in allen Organen der Inanition unterworfenen Thiere bestätigt.

Bei Fleischfütterung fanden sie, dass nahezu die Gesamtmenge des Nahrungsstickstoffes mit dem N-haltigen Producte des Harns und Kothes ausgeschieden wurde, und vermutheten, dass das abweichende Ergebniss anderer Forscher auf Versuchsfehler zurückzuführen sei.

Es hatte sich namentlich bei früheren Versuchen, die N-Bilanz

des Körpers darzustellen, immer ein N-Deficit ergeben; theils zeigten die Gleichungen einen Ueberschuss, theils wieder einen Verlust an. Dass durch derartige Befunde, wenn sie der Wirklichkeit entsprechend waren, die Stoffwechseluntersuchungen ungemein erschwert werden mussten, war einleuchtend. Die Ergebnisse Bidder's und Schmidt's waren daher, wenn richtig, als sehr werthvoll zu betrachten.

Liebig war schon vor Bidder und Schmidt entschieden für die Ansicht eingetreten, dass aller N der aufgenommenen Nahrung als Harnstoff ausscheide; doch konnte er ebenso wenig wie diese Forscher auf die Ursachen hinweisen, woher das N-Deficit in den Stoffwechseluntersuchungen herstammte.

Die richtige Beziehung der Harnstoffausscheidung zum Stoffwechsel der N-haltigen Substanzen im Körper enthüllt zu haben, verdanken wir aber Voit (72). In vielen an einem Hunde ausgeführten Untersuchungsreihen erstrebte er zuerst durch genaue Analysen des Futters und des Harns und Kothes, sowie durch sorgfältige Abgrenzungen der zu verschiedenen Versuchsperioden gehörigen Ausscheidungsproducte, alle Fehlerquellen der Methodik auszuschalten. Es erwies sich, dass gewöhnlich alles aufgenommene N im Harn binnen 24 Stunden wieder erschien.

Die Untersuchungen wurden von Voit im Verein mit Bischoff (10) fortgesetzt. Sie fanden an Hunden, wie Bidder und Schmidt an Katzen, dass bei Hunger das Thier vom Eiweiss (oder Fleisch, wie Bischoff und Voit es nennen) und Fett seines Körpers zehrt. Bei Fleischfütterung steigt entsprechend den Fleischmengen die N-Ausscheidung im Harn, und schliesslich kann das Thier bei genügender Fleischaufnahme seine Ausgaben ganz durch Fleisch decken. Bei geringerer Aufnahme verbraucht es noch immer von seinem eigenen Fleisch und Fett. Fett in der Nahrung vermindert den N-Umsatz, und ein Theil des Nahrungseiweisses wird angesetzt. Kohlehydrate und Leim sparen ebenfalls das Eiweiss und leisten dabei mehr als das Fett.

Nach diesen Ergebnissen war das Räthsel des N-Deficits leicht zu erklären. Mehr N als in der Nahrung wird sich im Harn finden, wenn der Organismus von seinem eigenen Eiweissvorrath zehrt, weniger, wenn etwas von dem Nahrungseiweiss im Körper aufgespeichert wird.

Bei der weiteren Verfolgung der N-Ausscheidung durch den Harn constatirten sie, wie zuerst Lehmann (31) am Menschen, dann Voit am Menschen und am Hunde gefunden hatte, dass nach Einführung von Fleisch oder anderer Eiweissnahrung die stündliche Harnstoffausscheidung stieg, und dass innerhalb 16 bis 24 Stunden eine dem ein-

geführten Eiweiss entsprechende Harnstoffmenge wieder ausgeschieden worden war. Im Kothe fanden sie ausser unverdauten Nahrungsresten auch Producte, die aus dem Stoffwechsel des Körpers hervorgegangen waren.

Durch die Arbeiten Bischoff's und Voit's waren die Verhältnisse der Eiweissstoffe im Körper mit Genauigkeit abzuleiten. Der Umsatz der N-freien Stoffe aber, die vollständig zu CO_2 und H_2O verbrennen, wurde von ihnen nicht direct verfolgt. Sie versuchten Auskünfte hierüber durch Berechnungen im Sinne Boussingault's zu gewinnen, sahen aber, wie Voit hervorhebt, schliesslich ein, dass aus dem Körpergewicht keine sicheren Schlüsse zu ziehen sind, welche Substanzen angesetzt werden oder verloren gehen, weil der Wassergehalt des Körpers grossen Schwankungen unterworfen ist. — Um Rechenschaft von allen Stoffen, welche im Körper zersetzt werden, geben zu können, musste man wieder die Untersuchungsmethode Bidder's und Schmidt's ergreifen.

Pettenkofer (38) hatte inzwischen einen Respirationsapparat gebaut, der geräumig war und stets mit frischer Luft ventilirt werden konnte. Die Versuchsobjecte, Menschen wie Thiere, konnten sich hier beliebig lange Zeit ohne Unannehmlichkeiten aufhalten. Von der ventilirten Luftmenge ging ein gemessener Theil continuirlich zu Analyseapparaten, welche die Ausathmungsproducte CO_2 und H_2O zu messen gestatteten. Unter Anwendung dieses Apparates und gleichzeitiger Berücksichtigung der Einnahmen und der festen und flüssigen Ausgaben des Körpers nahm Voit in Gemeinschaft mit Pettenkofer (39. 40. 41. 42. 43. 44. 45) die Untersuchungen wieder auf. Die Sauerstoffaufnahme wurde nicht direct bestimmt, sondern berechnet aus der Differenz des Anfangsgewichtes des Körpers und der Nahrung einerseits, und des Endgewichtes und der Ausscheidungen andererseits. Die Versuche dauerten 24 Stunden und wurden meistentheils an einem Hunde, aber auch an Menschen angestellt.

Die Thatsache, dass am hungernden Organismus neben Eiweiss auch Fett zersetzt wird, fanden sie nicht nur durch die Erfahrung bestätigt, dass hungernde Thiere nach und nach alles Fett verlieren, sondern auch durch die Uebereinstimmung des direct bei dem Versuche aufgenommenen Sauerstoffes mit der berechneten Sauerstoffmenge, die zur Oxydation der zersetzten Stoffe erforderlich war.

In ihren mit Fleischfütterung ausgeführten Versuchen vermehrte sich, wie schon früher gefunden worden war, mit Steigerung der Zufuhr in ungefähr gleichem Grade die Zersetzung des Eiweisses.

Bei Fütterung mit Fleisch und Fett steigerte sich auch ähnlich

wie bei der ausschliesslichen Fleischfütterung mit wachsender Eiweisszufuhr der Eiweissverbrauch. Indessen übte das Fett einen bestimmten Einfluss aus; es wirkte eiweissersparend. Durch Fettzugabe zum Futter konnten sie N-Gleichgewicht bei einer geringeren Fleischration nachweisen, als bei reiner Fleischfütterung.

Bei Zufuhr von gemischter Kost zeigte sich die Eiweisszersetzung wenig verändert, mit wachsender Zufuhr auch wachsende Zersetzung. In Bezug auf die Fähigkeit Eiweiss zu ersparen, waren doch die Kohlehydrate wirksamer als das Fett. Aber sie ersparten auch Fett, und bei gleichzeitiger Einnahme von Fett und Kohlehydraten zerfielen die letzteren in erster Linie. Die Grösse der Fett- und Kohlehydratzersetzung leiteten Pettenkofer und Voit wieder von den im Experiment aufgenommenen Sauerstoffmengen ab.

Wenn es sich auch späterhin herausgestellt hat, dass die Sauerstoffbestimmungen von Pettenkofer und Voit sehr ungenau waren, sind doch die Ergebnisse ihrer Untersuchungen im Grossen und Ganzen durch neuere, hauptsächlich von den Schülern Voits ausgeführte Arbeiten bestätigt worden. Es darf als festgestellt angesehen werden, dass mit Ausnahme einer gewissen Menge Eiweiss, die durch andere Stoffe nicht ersetzbar ist, die organischen Nährstoffe sich vertreten können. Der Organismus kann mit Eiweiss allein, oder mit Eiweiss und Fett, mit Eiweiss und Kohlehydraten, oder mit allen drei Gruppen von Stoffen gleichzeitig ernährt werden.

Dieses Gesetz der Ernährungslehre hat aber erst durch Rubner's Untersuchungen seine volle Bedeutung gewonnen.

Nachdem die potentielle Energie der Nahrungsstoffe von mehreren Forschern calorimetrisch gemessen, und besonders von Rubner (57) der physiologisch nutzbare Energievorrath der Eiweissstoffe bestimmt worden war, zeigte Rubner (55) durch Versuchsreihen an Thieren, dass die Nährstoffe einander in Gewichtsmengen vertreten, die gleichgrossen Wärmemengen entsprechen. Durch weitere Untersuchungen hat er bewiesen, dass keine anderen Kräfte im Körper zur Verwendung kommen, als diejenigen, welche wir mittels der Nahrung einführen.

Aus den von Thieren gelieferten Stoffwechselproducten berechnete Rubner die Kraftmengen der verbrauchten Nährstoffe und bestimmte gleichzeitig durch calorimetrische Messung die Wärmemenge, welche von Seiten des Thieres nach aussen abgegeben war. Die Thiere befanden sich während des Versuches in vollständig ruhendem Zustande. Die Summen der berechneten und direct gemessenen Wärmemengen waren genau gleich (60).

Neulich haben Atwater und Rosa (6) die directe Calorimetrie an Menschen ausgeführt und in zwei Versuchen, der eine mit 8 Stunden mechanischer Arbeitsleistung, der andere ohne äussere Arbeit, eine Differenz zwischen dem direct bestimmten und dem indirecten, aus dem Stoffwechsel berechneten Kraftaufwand um je 3 und 1 Procent gefunden. Es hat sich mithin auch für die menschliche Biologie die Lehre von der Erhaltung der Kraft glänzend bewährt.

Wir können jetzt behaupten, dass der Nahrungsbedarf, d. h. der Energievorrath, welcher mit der Nahrung einzuführen ist, mit dem Energieverbrauch des Körpers gleich gross sein muss. Kennt man den letzten, so kann der erste bestimmt werden.

Die Grösse des Kraftwechsels im Körper ist nun von verschiedenen Factoren abhängig. Am meisten wirken Bewegung und Arbeitsleistung ein. Wird aber keine äussere Arbeit verrichtet, und befindet sich der Organismus im Hungerzustande, so wird nach der Lehre Rubner's die Wärmeproduction des Körpers im Wesentlichen nur von der Wärmeabgabe nach aussen bedingt. Rubner (56) hat die Bedingungen des Wärmeverlustes an Thieren verfolgt und dargethan, dass mit der Oberflächenentwicklung der Wärmeverlust und mit diesem die Wärmeproduction wächst. Will man die Wärmebildung zweier ungleich grosser Organismen mit einander vergleichen, gebührt es sich die erhaltenen Werthe auf gleich grosse Oberflächen zu beziehen. Thut man dies aber, und bleiben die äusseren Bedingungen für den Wärmeverlust unverändert, so soll nach Rubner (57) die Wärmeproduction des Organismus vom Anfang bis zum Ende des Lebens gleichmässig verlaufen.

Wird dem Thiere Nahrung gegeben, so verursacht die Nahrungsaufnahme eine innere Arbeit, die mit vermehrter Wärmeproduction einhergeht. Diese gesteigerte Wärmeproduction kommt aber bei herrschender mittlerer Temperatur gewöhnlich nicht zum Ausdruck. Im Hunger bildet, wie Rubner (59) lehrt, der durch die Abkühlung in Erregung gesetzte Muskelapparat den grössten Theil der Wärme. Wenn nun einem Organismus nicht wesentlich mehr an wärmespendendem Material zugeführt wird, als derselbe im Hungerzustande zersetzt, tritt keine oder eine ganz unbedeutende Vermehrung der täglichen Wärmebildung ein, weil die Arbeit der Muskeln aufgehoben und durch die von der Nahrungsaufnahme herrührende innere Arbeit compensirt wird.

Bei abundanter Kost konnte Rubner (58) aber eine reichlichere Wärmebildung als während der vorhergehenden Hungertage nachweisen. Am meisten Wärme wurde durch überschüssige Eiweisszufuhr erzeugt.

Der durch äussere und innere Arbeit veranlassten Erhöhung der Wärmebildung sucht sich der Körper durch Abgabe nach aussen zu entledigen. Da aber Production und Abgabe sich nicht sogleich compensiren, entstehen die kleineren oder grösseren Schwankungen der Körpertemperatur (Sondén und Tigerstedt 67, S. 165, Johansson 26, Hörmann 22), welche auch beim gesunden Organismus beobachtet werden.

Hiermit dürfte in kurzen Zügen ein Abriss der Ernährungslehre gegeben worden sein, wie sie sich bis zur jetzigen Zeit entwickelt hat. Im Lichte derselben gehe ich in Folgendem die Grösse des Nahrungsbedarfs für erwachsene, ruhende Männer zu beurtheilen, insofern dieser durch Untersuchungen verschiedener Forscher aus den Ausgaben des Körpers in 24stündigen Versuchen hervorgegangen ist. Zu diesen Versuchen will ich nachher einige Reihen eigener Untersuchungen fügen. Ich werde dabei Gelegenheit finden, die oben angegebenen Gesetze der Ernährungslehre näher zu berühren und zu untersuchen, ob der Kraftverbrauch erwachsener Menschen von verschiedenem Alter diesen Gesetzen Folge leistet, oder ob etwa nebenbei eine spezifische Stoffwechselenergie besteht.

II. Versuche früherer Forscher über den 24stündigen Stoff- und Kraftwechsel erwachsener, ruhender Männer.

Die von Rubner und von Atwater und Rosa gemachten Untersuchungen haben erwiesen, dass die Berechnung des Kraftverbrauches aus den Stoffwechselproducten der directen Calorimetrie ebenbürtig an die Seite gestellt werden kann, wenn die Versuchsbedingungen so gewählt werden, dass die in gegebener Zeit aufgenommenen und zersetzten Stoffe auch ausgeschieden worden sind. Hierzu gehört eine 24-stündige Versuchszeit, von welcher die letzten 12 Stunden nüchtern zugebracht werden müssen.

Versuche von Ranke. Die ersten beim Menschen ausgeführten Untersuchungen, aus welchen der 24-stündige Kraftverbrauch hervorgeht, sind 1862 von Ranke (51) veröffentlicht. Die Versuche wurden an Ranke selbst angestellt. Er stand zur Zeit in einem Alter von 24 Jahren, war gesund, kräftig und etwas fettleibig.

Die Versuche wurden im Pettenkofer'schen Respirationsapparate vorgenommen, theils bei Hunger, theils mit verschiedenartig zusammengesetzter Kost. Während der Versuchszeit nahm Ranke vollständige Ruhe wahr. Jeder Versuch fing des Morgens früh an und dauerte 24 Stunden.

Es wurde in den Hungerversuchen die Stickstoff- und Kohlenstoffausscheidung im Harn und der Kohlenstoffgehalt der Respirationsluft bestimmt. Der Kraftwechsel, in Kilogrammcaldorien gemessen, berechnet sich dann aus folgenden Verhältnisszahlen:

1^s aus dem hungernden Körper ausgeschiedener Stickstoff¹ entspricht einem Verbrauch von 25.0 Caldorien (Rubner).

Verhältniss zwischen Stickstoff und Kohlenstoff im Eiweiss, N : C = 1 : 3.3 (Rubner, 57, S. 323).

1^s Kohlenstoff aus Fett = 12.3 Caldorien (Rubner).

Die Ergebnisse meiner Berechnungen sind in der Tab. I angegeben.

Wenn es gilt, Versuche zu berechnen, bei welchen Nahrung und besonders Kohlehydrate aufgenommen worden sind, hat man nach Abzug des Eiweisskohlenstoffes zweitens den Kohlenstoffgehalt der Kohlehydrate von dem Kohlenstoffreste abzuziehen, und drittens ist, wenn dann noch ein Kohlenstoffüberschuss bleibt, dieser auf zersetztes Fett zu beziehen. Die Caldorienwerthe gehen aus folgenden Verhältnisszahlen hervor:

1^s N = 25.98 Caldorien = physiologischer Nutzeffect des Stickstoffes des trockenen, fettfreien Muskelfleisches (Rubner).

N : C = 1 : 3.3 (Rubner, 62, S. 431).

1^s C aus Kohlehydraten = 9.5 Cal. (Rubner).

1^s C aus Fett = 12.3 Cal.

Bei den Kostversuchen habe ich diejenige N-Menge in Rechnung gestellt, welche mit dem Harn entleert worden ist, und dazu noch 1^s, als zu den Ausscheidungen der Darmschleimhaut und den Rückständen der Verdauungssäfte gehörend, angenommen.² Diesem 1^s N habe ich 3.3^s C zugerechnet.³

Ranke hat den Eiweiss-, Fett- und Kohlehydratgehalt der von ihm aufgenommenen Nahrungsmittel nicht bestimmt, sondern nur deren N- und C-Gehalt angegeben. Aus seinen Angaben habe ich die verschiedenen Nährstoffe zu berechnen versucht. Von dem für die Kohle-

¹ Der zu den Hungerversuchen gehörige Koth wurde von Ranke nicht bestimmt. Auch im Hunger wird bekanntlich Stickstoff mit dem Kothe entleert, doch in so geringer Menge, dass er vernachlässigt werden kann.

² Nach Voit (74) gehen von den N-haltigen Zersetzungsproducten des Eiweisses mindestens 5 Procent des im Harn ausgeschiedenen Stickstoffes mit dem Kothe ab; weiter über die N-Ausscheidung im Darne bei Rubner (54, S. 198), Müller (57), Rieder (53), Erwin Voit (75) und Tsuboi (71).

³ Siehe über die Zusammensetzung des Kothes: Pflüger (48, S. 14—28 und Prausnitz (50).

hydrate erhaltenen Werth sind 5 Procent als nicht resorbiert abgezogen. Bei einem Versuche giebt er für die aufgenommene Nahrung keine weiteren Angaben, als dass sie eine maximale war mit vorzugsweise N-freien Stoffen. Diesen Versuch habe ich weggelassen. Die übrigen sind in der Tab. I aufgezeichnet.

Tabelle I. Ruheversuche von Ranke.

Versuchsperson: Arzt, 24 Jahre alt.

Nummer	Körpergewicht kg	Mittlere Temp. des Versuchsraumes	Art der Nahrung	Ausgeschied. N		Ausgeschied. C		Calorien verbraucht				Calorien in der Nahrung (Brutto)
				g	g	g	g	aus Eiweiss	aus Fett	aus Kohlehydr.	Summa	
1	69.0	19.5°	Hunger	8.02	184.5	200.5	1945.4	—	2146	—	—	—
2	72.9	24.5	"	10.40	185.3	260.0	1857.3	—	2117	—	—	—
3	71.8	16.4	"	8.62	184.7	215.5	1922.5	—	2138	—	—	—
4	70.0	?	{ 95.0 ^g Eiweiss 94.4 Fett 240.0 Kohlehydr.	15.84	216.8	411.5	813.5	944.3	2169	2252	—	—
5	73.0	?	wie vorige	19.85	227.2	515.7	766.3	944.3	2226	2252	—	—
6	72.9	21.5	{ 389.4 Eiweiss 96.0 Fett	41.9	252.5	1088.6	1404.6	—	2493	2530	—	—
7	72.6	22.5	{ 150.0 Fett 357.0 Kohlehydr.	9.16	207.4	229.0	356.7	1408.3	1994	2859	—	—

Den kleinsten Werth weist der Versuch VII mit stickstofffreier Nahrung auf. Die Hungerversuche sind im Durchschnitt 6 Procent höher ausgefallen. Dies dürfte doch mehr in der Berechnungsart als anderswo liegen. Ich habe bei der Berechnung der Hungerversuche angenommen, dass nur Eiweiss und Fett verbrannt worden sind. Diese Annahme ist doch nicht ganz zutreffend, weil in den ersten Hungertagen auch gewisse Mengen von Kohlehydraten bei dem Kraftwechsel theilhaftig sind.

Wie oben angegeben ist, ergibt aber die calorische Berechnung des ausgeschiedenen Kohlenstoffes, dass 1^g C aus Fett einen Verbrennungswerth von 12.3 Cal. und 1^g C aus Kohlehydraten einen solchen von 9.5 Cal. hat. Die Differenz zu Gunsten des Fettes ist etwa 30 Proc. Nehmen wir nun an, dass nicht ganz geringe Mengen von Kohlehydraten bei den Hungerversuchen zum Zerfall gingen, so sind ihre Calorienwerthe in Tab. I zu gross und in der That wahrscheinlich nicht grösser, als bei dem Versuche mit stickstofffreier Kost.

Den höchsten Werth zeigt der Versuch 6. Die Berechnung dieses Versuches ist vielleicht auch nicht ganz sicher. 62·29% N wurden eingenommen, aber nur 44·16% durch Harn und Koth entleert, 18·13% N waren im Körper geblieben. Entspricht nun diese N-Menge dem Eiweiss der Nahrung, welches nicht zersetzt wurde, oder besteht sie zum Theil aus N-haltigen Zersetzungsproducten, mit deren Ausspülung der Organismus während des Versuchstages nicht fertig geworden war? Bei der überaus grossen Eiweisszufuhr ist ein Zweifel darüber gewiss berechtigt. Wurde aber mehr Eiweiss zersetzt, als die Ausscheidungsproducte angeben, dann ist der Verbrauch zu hoch berechnet. Aber selbst wenn angenommen wird, dass alles aufgenommene Eiweiss während des Versuchstages zerfiel, giebt die Berechnung doch einen höheren Werth, als die Werthe für die Versuche bei Hunger und N-freier Kost.

Nun unterscheidet sich der fragliche Versuch von den letztgenannten eben durch die grosse Eiweisszufuhr. Die Folgerung ist mithin am nächsten liegend, dass durch sie der Verbrauch in die Höhe getrieben war. Es wurden allerdings auch 96% Fett aufgenommen. In dem Versuche mit N-freier Kost betrug aber das aufgenommene Fett 150%, und doch war der Umsatz hier viel kleiner.

Versuche von Pettenkofer und Voit. Vier Jahre nach Ranke veröffentlichten Pettenkofer und Voit (41) eine Versuchsreihe, in welcher mit zwei Männern Untersuchungen über den Gesamtstoffwechsel gemacht worden waren. Der erste Mann war ein kräftig gebauter, 28jähriger Uhrmacher von etwa 70^{kg} Gewicht (incl. Kleidung), der zweite ein schlecht genährter, 36jähriger Schneider von 53^{kg} Gewicht. Die Versuchspersonen verhielten sich theils „ruhig“,¹ theils arbeiteten sie. In einigen Versuchen fasteten sie, in anderen nahmen sie Nahrung auf.

Der Gehalt an Eiweiss, Fett und Kohlehydraten in der Nahrung wurde bestimmt.

12 Stunden vor den Hungerversuchen wurde eine Mahlzeit von Fleisch und Bier gegeben. Pettenkofer und Voit nehmen an, dass in den Hungerperioden nur Eiweiss und Fett bei dem Kraftwechsel theilhaftig waren.

Die Alkoholmenge, welche die Versuchspersonen in den Nahrungsversuchen genossen hatten, ist von Pettenkofer und Voit nicht berücksichtigt. Ich nehme mit von Hoesslin (23) für das aufgenommene Bier einen Alkoholgehalt von 3·5 Proc. an, und weiter,

¹ Nur „um sich der Langeweile zu erwehren“ beschäftigt.

dass 10 Procent von dem Alkohol den Körper unverbrannt verlassen haben. Von den Kohlehydraten in der Nahrung ziehe ich 5 Proc. als Verlust bei der Verdauung ab. Die Berechnung ist sonst wie bei den Ranke'schen Versuchen ausgeführt.

In der Tab. II sind die Ruheversuche zusammengestellt.

Wir finden bei den Versuchspersonen von Pettenkofer und Voit eine grössere Wärmeproduction als bei Ranke. Der Unterschied macht sich bemerkbar sowohl in den Hungerversuchen, als auch in den Nahrungsversuchen.

Sonst sehen wir in diesen Versuchen ganz wie in jenen von Ranke, dass mit steigender Eiweisszufuhr in der Nahrung die Wärmeproduction zugenommen hat. Der Versuch mit stickstofffreier Kost zeigt die geringste, diejenigen mit mittleren Mengen Eiweiss eine grössere und die mit reichlichen Mengen die grösste Wärmeproduction.

Versuche von Sondén und Tigerstedt. Im Jahre 1892 wurde von Sondén und Tigerstedt (67) ein grosser Respirationsapparat nach dem Pettenkofer'schen Principe gebaut. Mit diesem Apparate führten sie mehrere Untersuchungsreihen über die Respiration und eine über den Gesamtstoffwechsel des Menschen aus. Die letztgenannte Reihe umfasste Versuche mit 13 Personen von verschiedenem Alter. Die Versuche fingen Nachmittags oder Abends an, nachdem die Versuchsperson einige Zeit vorher ihr Mittagessen genossen hatte. Während der Versuchsdauer fasteten vier von den Versuchspersonen, eine nahm nur Frühstück, die übrigen Kost wie gewöhnlich. Sie sollten sich während der Versuchszeit verhalten, wie sich ein Mensch in der Regel verhält, wenn er keine körperliche Arbeit auszuführen hat, und sassen ziemlich still mit Lesen und Schreiben beschäftigt.

Die Kohlensäureabgabe wurde bei 11 Versuchen in zweistündigen, bei 2 Versuchen in sechsstündigen Perioden bestimmt. Die C-Menge im Harn ist nach dem Verhältniss $N:C = 1:0.67$ berechnet.

Der Eiweissumsatz ging aus dem Stickstoffgehalt des Harns hervor. Die Menge der aufgenommenen Nahrung bestimmten sie nicht. Aus Erwägungen, die ich hier übergehe, wurde angenommen, dass Fett und Kohlehydrate in der Proportion 100:270 an dem Stoffzerfall theilgenommen hatten.

Den Kraftwechsel bei den Hungerversuchen berechneten Sondén und Tigerstedt erstens unter der soeben genannten Voraussetzung, zweitens auch laut der Annahme, dass aller aus N-freien Substanzen abgegebene Kohlenstoff vom Fett herrührte.

Die der anderen Berechnung gemäss gefundenen Werthe sind

Tabelle II. Ruheversuche von Pettenkofer und Voit.

Versuchsperson I: Uhrmacher, II: Schneider.

Versuchsperson	Nummer	Körpergewicht	Mittlere Temp. des Versuchsraumes	Art der Nahrung	Ausgeschied. N	Ausgeschied. C	Calorien verbraucht				Calorien in der Nahrung (Brutto)
		kg			g	g	aus Eiweiss	aus Fett	aus Kohlehydraten und Alkohol	Summa	
I	1	70.60	14.1°	Hunger	11.33	207.5	283.2	2091.0	—	2374	—
I	2	70.35	15.1	"	11.00	195.1	275.0	1956.0	—	2231	—
I	3	69.40	18.6	137 ^g Eiweiss 117 Fett 352 Kohlehydr. 35 Alkohol	18.35	264.5	476.7	504.3	1597.5	2578	3338
I	4	71.00	16.4	137 Eiweiss 98 Fett 352 Kohlehydr. 35 Alkohol	17.32	273.1	450.0	650.6	1597.5	2698	3161
I	5	71.50	15.4	137 Eiweiss 95 Fett 352 Kohlehydr. 35 Alkohol	18.36	269.6	477.0	565.8	1597.5	2640	3133
I	6	71.60	15.6	300 Eiweiss 123 Fett 390 Kohlehydr. 96 Alkohol	27.04	294.3	702.5	—	2116.2	2819	4645
I	7	72.20	16.3	300 Eiweiss 103 Fett 390 Kohlehydr. 96 Alkohol	33.82	308.4	878.6	—	2038.0	2917	4515
I	8	71.30	16.4	13.6 ^g (= 1.29 ^g N) Fleischextract 79 ^g Fett 400 Kohlehydr. 271 Eiweiss 89 Fett 270 Kohlehydr. 35 Alkohol	12.14	239.3	803.5	412.0	1574.1	2290	2375
I	9	70.90	19.3	271 Eiweiss 89 Fett 270 Kohlehydr. 35 Alkohol	19.10	269.6	496.2	975.4	1271.8	2743	3291
II	10	52.70	14.0	125 Eiweiss 110 Fett 352 Kohlehydr. 35 Alkohol	19.03	205.6	494.4	—	1422.9	1917	3224

doch ihrer Meinung nach entschieden zu hoch, und die Differenz zwischen dem zuerst berechneten Werthe und der thatsächlichen Grösse des Stoffwechsels schätzen sie nicht höher als etwa 10 Proc. des kleineren Zahlenwerthes.

Ich nehme in die Tab. III (s. S. 428) die Versuche mit erwachsenen Personen auf und lege für die Hungerversuche sowohl die kleineren, als auch die grösseren Zahlenwerthe vor.

Als Sondén und Tigerstedt die Versuchsergebnisse auf Einheit des Körpergewichtes und der Körperoberfläche umrechneten, fanden sie, dass die Energie des Stoffumsatzes mit steigendem Alter abnimmt.

Ich möchte, die Versuche von Sondén und Tigerstedt betreffend, auf eine Erscheinung hinweisen, die in gewissem Parallelismus mit der bei den Versuchen von Ranke und von Pettenkofer und Voit gemachten Beobachtung steht. Es scheint sich nämlich eine Abhängigkeit vorzufinden zwischen dem N-Umsatze und dem Kraftwechsel, wenn beide Grössen auf Einheit Körpergewicht bezogen werden. Ich lege in der Tab. IV (s. S. 429) die hierher gehörigen Zahlen vor. Hierbei nehme ich für die Hungerversuche als thatsächliche Grösse des Kraftverbrauches die kleineren Werthe um 10 Proc. vergrössert auf.

Wie aus der Tab. IV zu ersehen, sinkt in der Regel mit abnehmender N-Ausscheidung auch der Calorienverbrauch. Eine bedeutendere Ausnahme macht nur der Versuch 3. Die Versuchsperson hatte aber hier eine grössere äussere Arbeit als die übrigen Untersuchten geleistet, dieser Versuch ist deshalb mit den anderen nicht direct vergleichbar. Eine zweite Ausnahme bilden die drei letzten Versuche mit alten Personen. Hier geht die N-Abgabe und der Gesamtverbrauch nicht parallel. Der Unterschied zwischen den grössten und kleinsten Zahlen ist doch für beide Werthe gering. Im Durchschnitt genommen steht der Gesamtverbrauch bei den alten Personen niedriger als bei den Individuen im kräftigen Alter, und ebenso ist der N-Umsatz vermindert.

Sondén und Tigerstedt sagen (67, S. 222): „Die Menge des zersetzten Eiweisses hält sich bei den Hungerversuchen sehr hoch und schwankt zwischen 81 g und 134 g; im Mittel beträgt sie 108 g. Wenn wir bedenken, wie die Eiweisszersetzung vor Allem von der Eiweisszufuhr abhängt, sowie dass die N-Ausscheidung im Verlauf des Hungertages im Grossen und Ganzen abgenommen hat, so können wir es nicht vermeiden, hierin einen Ausdruck dafür zu finden, dass unsere Versuchsindividuen bei frei gewählter Kost in der Regel ziemlich grosse Mengen von Eiweiss zu geniessen pflegen.“

Die Tab. IV zeigt, dass ein Zusammenhang zwischen der Menge

Tabelle III. Ruheversuche von Sonden und Tigerstedt.

Nummer	Versuchsperson		Alter, Jahre	Körper- gew. (ohne Kleider) kg	Mittlere Temp. des Versuchsraumes	Nahrung	Aus- geschied.		Aus- geschied.		Calorien verbraucht			Summa d. Calorien unter Voraussetzung, dass keine Kohle- hydrate verbrannt worden sind
	Stand						N	C	aus Eiweiss	aus Fett	aus Kohlehydr.	Summa		
1	Ingenieur	20	71.18	19.5°	Hunger	21.51	233.7	559	803	980	2292	2567	—	
2	Cand. der Med.	30	68.00	19.1	"	14.85	186.8	389	678	786	1853	2085		
3	Privatdocent	32	69.51	16.6	"	17.79	228.4	462	837	969	2268 ¹	2555		
4	Professor	43	88.51	19.7	"	19.26	222.6	501	785	908	2194	2464		
5	Studirender	20	72.7	16.6	Gewöhnl. Kost	19.64	280.0	510	815	944	2269	—		
6	Laboratoriums- diener	31	76.58	20.8	"	13.70	209.8	356	812	940	2108	—		
7	Arzt	31	64.99	21.0	"	17.20	200.6	447	710	822	1979	—		
8	Arbeiter	69	66.59	17.7	"	12.63	181.4	328	689	798	1815	—		
9	Gymnasiallehrer											—		
	a. D.	79	59.00	17.0	"	9.81	179.8	255	724	839	1818	—		
10	Witwe	84	61.3	19.5	"	9.83	179.8	255	626	842	1823	—		

¹ Die Verfasser bemerken zu Versuch 3, dass die Versuchsperson sich bedeutend stärker körperlich bewegt hatte, als dies bei den übrigen Versuchen der Fall war.

IV. Versuche von Sondén und Tigerstedt.

N-Ausscheidung und Calorienverbrauch auf Kilogramm Körpergewicht bezogen.

Die Nummer- folge ist wie in Tab. III	Körper- gewicht kg	Aus- geschied. N g	Calorien- verbrauch	N pro Körper- kilogr. g	Cal. pro Körper- kilogr.	Bemerkungen
7	54.99	17.20	1979	0.31	36.0	Gewöhnliche Kost
1	71.18	21.51	2527	0.30	35.5	Hunger
5	72.70	19.64	2269	0.27	31.2	Gewöhnliche Kost
8	69.51	17.79	2495	0.26	35.9	Hunger
2	63.00	14.95	2036	0.24	32.3	"
4	83.51	19.26	2413	0.23	28.9	"
6	75.58	13.70	2108	0.18	27.9	Gewöhnliche Kost
8	66.59	12.63	1815	0.19	27.3	"
9	59.00	9.81	1818	0.17	30.8	"
10	61.3	9.83	1823	0.16	29.7	"

des zersetzten Eiweisses und dem Gesamtstoffwechsel besteht. Wenn nun der Eiweisszerfall hauptsächlich von der Ernährung abhängt, sprechen die Versuche von Sondén und Tigerstedt auch zu Gunsten der Annahme, dass die Art der Nahrung die Intensität des Stoffwechsels beeinflusst.

Versuch von Johansson, Landergren, Sondén und Tigerstedt (27). Unter Anwendung des Sondén-Tigerstedt'schen Respirationsapparates führten die genannten Autoren einen Hunger-versuch an einem 26jährigen Candidaten der Medicin aus. Der Versuch dauerte 9 Tage. Die zwei ersten Tage wurde gewöhnliche, genau analysirte Kost gegeben; vom 3. bis 7. Tage nur Wasser, und an dem 8. und 9. Tage wieder analysirte Nahrung. Die Versuchsperson brachte die ganze Zeit in der Respirationskammer zu mit Ausnahme von zwei Stunden täglich.

Die Kohlensäureabgabe wurde in zweistündigen Perioden täglich für 22 Stunden bestimmt. Um die 24stündige CO_2 -Menge zu erhalten, berechneten die Verfasser den Mittelwerth der täglichen Kohlensäureabgabe pro 2 Stunden im wachen Zustande und addirten diesen Werth der direkt für 22 Stunden gefundenen Menge zu. Während des ersten Esstages wurde die Kohlensäure nur für die Nachthälfte und während des letzten Versuchstages für alle 24 Stunden bestimmt. Harn und Fäces wurden abgegrenzt und analysirt.

Von den während der Essperioden gefundenen N-Mengen der

Fäces wurde 1^g und zu diesem 1^g N eine entsprechende Quantität C (= 3.28) als dem Körper selbst entstammend angenommen. Der Calorienverbrauch ist mit Hülfe der Rubner'schen Standardzahlen berechnet.

Ich gebe in der Tab. V die Ergebnisse des Versuches wieder.

Tabelle V. Versuch von Johansson, Landergren, Sondén und Tigerstedt.

Tag	Körpergewicht	Mittl. Temperatur des Versuchsraumes	Nahrung (netto)	Ausgeschied. N	Ausgeschied. C	Calorien verbraucht				Calorien in der Nahrung (netto)
	kg			g	g	aus Eiweiss	aus Fett	aus Kohleh. und aus Alkohol	Summa	
2	67.48	18.0°	<div>172.7^g Eiweiss</div> <div>244.5^g Fett</div> <div>267.2^g Kohlehydr.</div> <div>27.5^g Alkohol</div>	23.41	273.1	608.2	809.1	2288.0	2705	4278
3	66.99	18.8	Hunger	12.17	197.6	303.5	1916.9	—	2220	—
4	65.71	20.1	„	12.85	188.8	320.5	1781.9	—	2102	—
5	64.88	21.5	„	13.61	183.2	339.4	1684.7	—	2024	—
6	63.99	18.4	„	13.69	180.8	341.4	1651.9	—	1992	—
7	63.13	17.5	„	11.47	176.2	286.1	1684.7	—	1971	—
8	63.98	18.8	<div>203^g Eiweiss</div> <div>248.9^g Fett</div> <div>250.4^g Kohlehydr.</div> <div>21.5^g Alkohol</div>	25.44	251.9	660.9	598.9	1177.1	2437	4356
9	65.56	16.4	<div>137.1^g Eiweiss</div> <div>227.7^g Fett</div> <div>247.8^g Kohlehydr.</div> <div>37.1^g Alkohol</div>	18.07	240.2	469.4	665.0	1276.7	2410	3946

Aus den Werthen für den Gesamtstoffwechsel geht, wie die Verfasser folgern, hervor, dass derselbe bei normaler Ernährung grösser ist als beim Hunger. Wenn sie den Kraftwechsel pro Kilogramm Körpergewicht am 5. Hungertage gleich 100 setzen, ist er während der Essstage im Mittel 122.7. Dass dies nicht etwa von den schwächeren Körperbewegungen beim Hunger herrührte, wurde ihnen klar, als sie die Kohlensäureabgabe im Schlafe während der Ess- und Hungerperiode verglichen. Die mittlere Kohlensäureabgabe im Schlafe ist während der erstgenannten Perioden 35.4 und die minimale sogar 43.4 Proc. grösser, als die entsprechende Abgabe während des 5. Hungertages.

Untersuchen wir wieder das Verhältniss zwischen Eiweissumsatz und Calorienverbrauch, so finden wir, dass dies in den Hungertagen im Grossen und Ganzen unverändert geblieben ist. Der erste Hungertag macht gewissermaassen eine Ausnahme, indem hier die N-Ausscheidung den geringsten, der Calorienverbrauch aber den grössten Werth zeigt. Diese Ausnahme ist doch vielleicht mehr scheinbar als wirklich, da die Berechnung des Calorienverbrauches, wie die Verfasser (27, S. 55) auslegen, besonders für den ersten, in geringerem Grade auch für den zweiten Hungertag zu hoch ausgefallen ist.

Betrachten wir die Esstage, so scheint beim ersten Anblick der früher gefundene Zusammenhang zwischen Aufnahme und Umsatz des Eiweisses einerseits und dem Gesamtverbrauche andererseits nicht zu bestehen. Am zweiten Esstage vor dem Hungern wurden 173^g Eiweiss aufgenommen, 23.41^g N ausgeschieden und 2705 Calorien verbraucht; am ersten Esstage nach dem Hungern sind 208^g Eiweiss resorbiert, 25.44^g N umgesetzt, aber an Calorien 263 weniger verbraucht.

Es lässt sich doch denken, dass die Eigenschaft der Nahrung, bezw. des Eiweisses, den Energieumsatz des Körpers zu erhöhen, sich nicht gleich am ersten Tage in voller Kraft geltend macht. Am ersten Esstage vor dem Hungern und wahrscheinlich noch vorher hatte die Versuchsperson reichlich Nahrung aufgenommen, vor dem ersten Esstage nach dem Hungern aber fünf Tage ganz ohne Nahrung gelebt. An diesem Tage nahm er 208^g Eiweiss auf, setzte 25.44^g N um und verbrauchte 2437 Calorien, an dem nächsten war die Eiweisszufuhr nur 133^g, der N-Umsatz 18.07^g und der Calorienverbrauch jedoch beinahe ebenso gross.

Uebrigens ist die Berechnung des Kraftwechsels bei überschüssiger Zufuhr, wie Rubner (57, S. 368) hervorhebt, nicht ganz sicher. Es ist unsicher, welcher Art die Ablagerung eines C-haltigen Abspaltungsproductes nach reichlicher Eiweisszufuhr ist. Wahrscheinlich wurde am ersten Esstage nach dem Hungern nicht die ganze zum abgegebenen Stickstoffe gehörige Kohlenstoffmenge ausgeschieden, sondern ein Theil davon als Glykogen im Körper abgelagert. Die Berechnung giebt dann einen zu kleinen Werth für den Kraftverbrauch.

Versuche von Andersson und Bergman. Die Verfasser (1) stellten im Laboratorium von Prof. Tigerstedt Selbstversuche über den Gesamtstoffwechsel an, um die Einwirkung des Jodothyryns zu studiren. Nach vorausgegangenem zwölfstündigen Fasten wurde der Gesamtumsatz am ersten Hungertage festgestellt. Am zweiten Hunger-

tage wurde Jodothylin eingenommen. Ich nehme die Beobachtungen am ersten Tage in der Tab. VI auf.

Die Versuchspersonen waren kräftig gebaute, junge Männer.

Tabelle VI. Versuche von Andersson und Bergman.

Versuchs- person	Alter, Jahre	Körper- länge cm	Körper- gewicht kg	Aus- geschied. N g	Aus- geschied. C g	Calorien verbraucht		
						aus Eiweiss	aus Fett	Summa
B	24	172	57.15	10.53	162.2	262.6	1571.0	1834
A	30	188	90.40	14.80	174.2	357.9	1927.1	2285

Versuche von Atwater. Ich habe schon auf S. 9 zwei Untersuchungen erwähnt, in welchen Atwater in Gemeinschaft mit Rosa sowohl die Stoffwechselproducte, als auch die Wärmeproduction des Körpers direct bestimmten. Während der Fertigstellung dieser Arbeit sind noch vier zu derselben Reihe gehörige Untersuchungen zu meiner Kenntniss gekommen, die Atwater im Verein mit Benedict (3) veröffentlicht hat.

Die Versuche wurden in einem von Atwater gebauten sogenannten „Respirationscalorimeter“ gemacht. Dieser Apparat besteht aus einer nach dem Pettenkofer'schen Principe construirten Respirationskammer, die zugleich Calorimeter ist. Die vom Körper abgegebene Wärme wird aufgenommen und weggeführt von Wasser, das in Rohrleitungen zwischen den Wänden der Kammer strömt. Um die Einrichtung des Apparates näher kennen zu lernen, verweise ich auf die Beschreibung, welche die Verfasser gegeben haben. Ich füge nur hinzu, dass die Experimente, welche gemacht wurden, um die Zuverlässigkeit des Apparates zu prüfen, gut ausfielen. Sowohl die Menge der im Apparat abgegebenen Wärme, als auch diejenige der Kohlensäure und des Wassers konnten so genau bestimmt werden, dass die wirklichen und gemessenen Werthe im Durchschnitt mit weniger als 1 Proc. von einander differirten.

Die Versuche wurden alle mit derselben Person gemacht: einem 31 jährigen, gesunden, in Schweden geborenen Manne von 1.87 m Länge und etwa 68^{kg} Gewicht. Er war zur Zeit Hilfsarbeiter im Laboratorium.

Die aufgenommene Nahrung und die festen und flüssigen Ausgaben des Körpers wurden nicht nur genau bestimmt und analysirt, sondern auch der Wärmewerth derselben calorimetrisch gemessen.

Jeder Versuch dauerte 8 Tage, in zwei Perioden von je 4 Tagen abgetheilt. Die erste Periode brachte das Individuum ausserhalb, die zweite in dem Versuchsraume zu, sonst aber unter gleichen äusseren Bedingungen. Während der ersten Periode strebte man die Quantität und die Zusammensetzung der Nahrung der Art zu wählen, dass N-Gleichgewicht und auch C-Gleichgewicht eintraten. Wenn N-Gleichgewicht in den präliminaren vier Tagen sich nicht eingestellt hatte, wurde die erste Periode noch länger ausgedehnt. Am Abend des 4. Tages trat das Versuchsindividuum in den „Respirationscalorimeter“ hinein, und am folgenden Morgen 7 Uhr fingen die Messungen an. Der erste Versuch wurde im Mai 1897, der letzte im Februar 1898 ausgeführt.

Mit Ausnahme von einem einzigen Versuche, den ich in meiner Zusammenstellung Tab. VII weggelassen habe, wurde in allen „Ruhe“ beobachtet. Die Versuchsperson hatte sich selbst zweimal täglich zu wiegen und brachte sonst die Zeit mit Lesen, Schreiben und Schlafen zu. Die Temperatur des Versuchsraumes wurde immer auf 20° C. gehalten.

Tabelle VII. Ruheversuche von Atwater.
(Täglicher Durchschnittswerth.)

Nummer	Körpergew.	Nahrung	Ausgesch. N im Harn	Ausgesch. C	Calorien			Calorien in der Nahrung (netto)
	kg		g	g	berechnet	gemessen	Differenz im Proc. des ersten	
1	65.40	119.1 ⁵ Eiweiss	18.1	243.3	2482	2379	- 4.1	2384
		94.7 Fett						
		275.5 Kohlehydr.						
2	66.56	104.4 Eiweiss	17.7	227.8	2434	2394	- 1.6	2251
		68.2 Fett						
		190.4 Kohlehydr.						
3	67.98	72.5 Alkohol	19.5	238.4	2361	2287	- 3.2	2626
		129.4 Eiweiss						
		97.7 Fett						
4	68.20	307.8 Kohlehydr.	18.4	236.2	2277	2309	+ 1.4	2426
		119.6 Eiweiss						
		69.0 Fett						
5	67.41	341.8 Kohlehydr.	19.5	228.4	2268	2283	+ 0.7	2435
		123.5 Eiweiss						
		31.6 Fett						
		294.7 Kohlehydr.						
		72.5 Alkohol						

Die direct gemessenen Werthe der Wärmeproduction differiren, wie aus der Tab. VII zu ersehen ist, sehr wenig von einander, höchstens um 5 Proc,¹ und die Versuche beweisen, dass, wenn die Qualität und Quantität der Nahrung nicht bedeutend verändert wird und die äusseren Bedingungen sich gleich bleiben, auch der Kraftwechsel des Körpers jahrelang ganz gleichmässig verbleibt.²

Der Unterschied zwischen der aus den Stoffwechselproducten berechneten und der direct gemessenen Wärmeproduction ist unbedeutend, in den beiden letzten Versuchen verschwindend klein.

Die Versuche von Atwater lassen sich am nächsten mit dem 9. Tage des Versuches von Johansson, Landergren, Sondén und Tigerstedt (Tab. V) vergleichen. Ich stelle den mittleren Werth von diesem mit jenen zusammen.

Autor	Körpergew.	Mittl. Temp. des Versuches	Ausgeschied.	Ausgeschied.	Calorien aus N u. C berechnet	Calorien in der Nahrung (netto)	Nahrung
	kg		N g	C g			
Johansson Landergren Sondén und Tigerstedt	65.56	16.40	18.07	240.2	2410	3946	{ 133.1 ^g Eiweiss { 248.0 Fett { 250.4 Kohlehydr. 37.1 Alkohol
Atwater	67.11	20.0	18.60	234.8	2365	2424	{ 119.0 Eiweiss { 72.2 Fett { 282.0 Kohlehydr. 29.0 Alkohol

Bei gleichem Körpergewicht und gleichem Eiweissumsatz verbrauchten die beiden Versuchspersonen beinahe gleich grosse Calorienmengen. Die erste Versuchsperson nahm doch mit der Nahrung 1500 Calorien mehr auf. Diese Mehraufnahme rührte aber ausschliesslich vom Fett her. Es scheint mithin auch aus dieser Zusammenstellung hervorzugehen, dass das Fett den Kraftverbrauch nur wenig zu erhöhen vermag.

Versuche von Bjerre. Um den Nährwerth des Alkohols zu untersuchen, nahm Bjerre (11) an sich selbst einen zweitägigen Ver-

¹ An den zu demselben Versuche gehörigen Versuchstagen noch weniger.

² Vgl. auch Sondén und Tigerstedt (67, S. 116) und Johansson (26, S. 117).

such in dem Sondén-Tigerstedt'schen Respirationsapparate vor.
Die Ergebnisse des Versuches gebe ich in der Tab. VIII wieder.

Tabelle VIII. Versuche von Bjerre.

	Körpergewicht	Nahrung	Ausgeschied. N	Ausgeschied. C	Calorien verbraucht				Calorie aus der Nahrung (brutto)
	kg		g	g	aus Eiweiss	aus Fett	aus Kohlehydr. und Alkohol	Summa	
Am 1. Tage	63	$\left. \begin{array}{l} 101.5^6 \text{ Eiweiss} \\ 141.0 \text{ Fett} \\ 314.6 \text{ Kohlehydr.} \end{array} \right\}$	12.08	204.4	310	482	1251	2043	3017
Am 2. Tage	63	$\left. \begin{array}{l} 101.5 \text{ Eiweiss} \\ 141.0 \text{ Fett} \\ 314.6 \text{ Kohlehydr.} \\ 167.6 \text{ Alkohol} \end{array} \right\}$	12.28	212.6	315	—	2013	2328	4190

Der Unterschied in der Wärmeproduction zwischen dem ersten und zweiten Tage leitet der Verfasser davon ab, dass er an diesem Tage vier bis fünf Stunden weniger schlief und in Folge der Alkoholaufnahme ein wenig angeheitert war. Diese Erklärung trifft wohl das Richtige, vielleicht könnte doch die grosse Alkoholmenge am zweiten Tage direct mit der erhöhten Wärmeproduction in Verbindung gebracht werden. Die Nahrungszufuhr, schon am ersten Tage reichlich, wurde am zweiten durch die Alkoholzufuhr mit 1000 Calorien vermehrt und überstieg den Verbrauch am ersten Tage mit 100 Proc.

Versuche von Sivéu. Während einer längeren Untersuchungsreihe, welche die untere Grenze für den Eiweissbedarf des Menschen zu bestimmen bezweckte, stellte Sivéu (66) auch 3 Versuche über den Gesamtstoffwechsel an. Die Versuchsperson, er selbst, war $30\frac{1}{2}$ Jahre alt, 162^{cm} lang und wog etwa 60^{kg} ohne Kleider. Die Versuche wurden mit dem Sondén-Tigerstedt'schen Apparate ausgeführt.

Nachdem Sivéu von der Gesamtmenge des ausgeschiedenen Kohlenstoffes jene Kohlenstoffmenge abgezogen hatte, welche von dem zersetzten Eiweiss herstammte, nahm er bei der Berechnung seiner Versuche an, dass der Kohlenstoff sich auf Fett, Kohlehydrate und Alkohol in demselben Verhältnisse belief, in welchem diese Stoffe mit der Nahrung zugeführt waren. Diese Art der Berechnung scheint doch nicht ganz genau zu sein. Es wird allgemein, und gewiss mit Recht, angenommen, dass, wenn vom Eiweiss abgesehen wird, Kohlehydrate

und Alkohol in erster Linie im Körper verbrennen, und dass das Fett nach ihnen an die Reihe kommt. Ich habe unter dieser Voraussetzung die Versuche Sivén's umgerechnet. Er genoss in allen drei Versuchen die nämliche Menge Alkohol, 14.3^g. Ich habe die ganze Alkoholmenge als zersetzt angenommen. Von den Kohlehydraten nahm er im ersten Versuche 243.6^g, im zweiten 256.3^g und im dritten 284.1^g auf. Sie wurden grösstentheils in Form von hartem Roggenbrod (Spisbröd), Reisgrütze, Kartoffelpurée und Zucker genossen. In den beiden ersten Versuchen nahm er etwa 800^g Milch auf, in dem letzten keine Milch, dagegen 200^g Aepfel. Den Verlust an Kohlehydraten bei der Ausnutzung im Darne habe ich für alle Versuche auf 5 Proc. geschätzt. Es ist ja möglich, dass die Ausnutzung von Versuch zu Versuch etwas gewechselt hat, und dass besonders der Verlust in dem letzten Versuche grösser als in den beiden anderen war. Aber selbst bei der Annahme, dass der Verlust in letzterem Falle 10 Proc. betragen hätte, steigt doch der von mir berechnete Werth nur mit 20 Calorien.

Tabelle IX. Versuche von Sivén.

	Körpergewicht kg	Nahrung	Ausgeschied. N g	Ausgeschied. C. g	Gesamtverbr. in Cal. berechn.		Cal. in d. Nahrung (brutto)
					von Sivén	von mir	
5—6/XI. 1898	60.8	79.3 ^g Eiweiss 113.4 ^g Fett 243.6 ^g Kohlehydr. 14.3 ^g Alkohol	9.00	182.5	1895	1840	2479
16—17/XI. 1898	60.0	62.7 ^g Eiweiss 117.1 ^g Fett 256.3 ^g Kohlehydr. 14.3 ^g Alkohol	8.16	192.0	1999	1950	2505
30/IX—1/XII. 1898	59.7	39.1 ^g Eiweiss 113.1 ^g Fett 284.1 ^g Kohlehydr. 14.3 ^g Alkohol	4.01	181.5	1912	1850	2477

Der Unterschied zwischen den von Sivén und mir berechneten Werthen für den Gesamtverbrauch ist nicht gross, was davon her-

rührt, dass die Zufuhr den Verbrauch nur wenig überstieg. Wäre jene reichlicher gewesen, so wäre auch die Differenz grösser ausgefallen.

Ich vergleiche in Tab. X die Ergebnisse bei den Sivéń'schen Versuchen mit einigen früheren Versuchen.

Tabelle X.

Autor	Versuchs- person	Körpergew. kg	Ausgesch. N		Calorien verbraucht		Bemerkungen
			im Ganzen	pro 1 kg Gewicht	im Ganzen	pro 1 kg Gewicht	
Johansson, Landergren, Sondén und Tigerstedt	Cand. d. Med.	65.56	18.07	0.275	2410	36.8	{ Zweiter Esstag nach d. Hungern; 3946 Cal. in d. Nahr. (netto) Mittelwerth von 5 Ver- suchen; 2424 Cal. in der Nahrung (netto)
Atwater	Hülfсарbeiter im Laborat.	67.11	18.00	0.277	2365	35.2	
Bjerre	Studirender	63.0	12.08	0.192	2048	32.4	{ 3017 Cal. in der Nah- rung (brutto)
Andersson und Bergman	Studirender	57.15	10.53	0.184	1834	32.1	Erster Hungertag
Johansson, Landergren, Sondén und Tigerstedt	Cand. d. Med.	63.13	11.47	0.182	1971	31.2	Fünfter Hungertag
Sivén	Arzt	60.25	7.06	0.117	1880	31.2	{ Mittelwerth von 3 Ver- suchen; 2487 Cal. in der Nahrung (brutto)

Diese Zusammenstellung scheint mir von Interesse zu sein. Wir haben hier 6 verschiedene Versuchsreihen mit gesunden Männern von ungefähr gleichem Gewicht und Alter, die nur in den Ernährungsverhältnissen Unähnlichkeit zeigen. Es ist daher naheliegend, die Ungleichmässigkeit im Gesamtstoffverbrauch eben aus diesen Verhältnissen abzuleiten. Dürfen wir dies, müssen wir, nach den in Tab. X gegebenen Zahlen zu urtheilen, weiter annehmen, dass die Intensität des Stoffwechsels durch die Nahrung beeinflusst wird, der Hauptsache nach insofern sie den Eiweissumsatz des Körpers vermehrt oder vermindert. Wird, wie aus den Untersuchungen Voit's hervorgeht, der Eiweisszerfall im Grossen und Ganzen durch die Nahrung geregelt, so lassen die Zahlen in Tab. X kaum eine

andere Deutung zu. Sivén, der durch N-arme Nahrung seinen Eiweissumsatz zu dem kleinen Werthe von 0.117^g pro Kilo vermindert hatte, zeigt einen Gesamtverbrauch, welcher mit 4 Cal. pro Kilo hinter dem Verbrauche der Versuchsperson von Atwater bleibt. Dieser hatte durch andere Art der Nahrung einen Eiweissumsatz von 0.277^g pro Kilo. Beide nahmen während der Versuche sonst eine Nahrung, deren Calorienwerth gleich gross war.

Und obgleich Sivén im Durchschnitt 2487 Cal. täglich zu sich nahm, stieg doch sein Kraftwechsel nur zu derselben Höhe, welche bei dem Mediciner Tigerstedt's am 5. Hungertage beobachtet wurde. Die Aufnahme von Fett und Kohlehydraten bei Sivén ermässigte den Eiweisszerfall, verdrängte theilweise das Eiweiss von der die Zellen umspülenden Ernährungsflüssigkeit, vermochte aber nicht, den Gesamtverbrauch über den Hungerwerth zu erhöhen.

Dieselbe Erscheinung haben wir auch bei den Versuchen von Ranke und von Pettenkofer und Voit gesehen. Bei N-freier Kost und geringem Eiweissumsatz erreicht der Verbrauch kaum den Bedarf im Hunger. Bei eiweissreicher Nahrung und hohem Eiweissumsatz ist er gesteigert.

Ausser den oben vorgebrachten giebt es meines Wissens in der Litteratur keine anderen Versuche, welche geeignet wären, den 24stündigen Stoff- und Kraftwechsel des erwachsenen, in gewöhnlicher Weise ruhenden Menschen zu beleuchten.

Ich führe sie alle in der Tab. XI zusammen. Dabei ordne ich sie in Gruppen nach Alter und Körpergewicht und beziehe zugleich den Gesamtverbrauch auf die Körperoberfläche, die ich nach der Meeh'schen Formel: $O = 12.31 \sqrt[1.75]{G}$ berechnet habe.

Tabelle XI. Der Gesamtstoffwechsel in 24 Stunden, durch Versuche von früheren Forschern beleuchtet.

Nummer	Versuchsperson						Bemerkungen	
	Stand	Alter, Jahre	Gewicht	Oberfläche	Cal. pro 1 kg Körpergew.	Cal. pro 1 qm Oberfläche		Cal. pro 1 qm Oberfl., Mittel
			kg	qm				
A								
1	Arbeiter	69	66.59	2.023	27.3	897.1	936	Sondén und Tigerstedt dies.
2	Wittwe	84	61.30	1.942	29.7	938.7		
3	Gymnasial-lehrer a. D.	79	59.00	1.867	30.8	973.7		dies.

Nummer	Versuchsperson				Cal. pro 1 kg Körpergew.	Cal. pro 1 qm Oberfläche	Cal. pro 1 qm Oberfl., Mittel	Bemerkungen
	Stand	Alter, Jahre	Gewicht	Ober- fläche				
			kg	qm				
B								
4	Studirender	30	90.40	2.479	25.3	921.7	973	Andersson u. Bergman Sondén und Tigerstedt
5	Professor	43	83.51	2.353	28.9	1025.1		
C								
6	Arzt	24	72.60	2.143	27.4	930.0	1106	Ranke
7	Laborato- riumdiener	31	75.58	2.201	27.9	958.0		Sondén und Tigerstedt
8	Arzt	24	71.20	2.115	30.0	1008.5		Ranke, Mittel von 3 Vers.
9	Arzt	24	73.00	2.150	30.5	1035.3		Ranke
10	Studirender	20	72.70	2.145	31.2	1057.8		Sondén und Tigerstedt
11	Uhrmacher	28	71.30	2.117	32.0	1031.7		Pettenkofer und Voit
12	Uhrmacher	28	70.48	2.101	32.6	1095.7		Pettenkofer und Voit,
13	Arzt	24	72.90	2.149	34.2	1113.5		Mittel von 3 Versuchen
14	Ingenieur	20	71.18	2.115	35.5	1194.8		Ranke
15	Privatdocent	32	69.51	2.082	35.9	1198.3		Sondén und Tigerstedt
16	Uhrmacher	28	70.39	2.118	37.4	1250.7		dies.
17	Uhrmacher	28	71.90	2.129	40.0	1347.1		Pettenkofer und Voit,
								Mittel von 3 Versuchen
D								
18	Arzt	30	60.25	1.892	31.2	993.6	1125	Sivén, Mittel von 3 Vers.
19	Cand. d. Med.	26	63.13	1.952	31.2	1009.7		Johansson, Tigerstedt
20	Cand. d. Med.	30	63.00	1.950	32.3	1045.1		Sondén und Tigerstedt
21	Studirender	?	63.00	1.950	32.4	1047.7		Bjerre
22	Hülfarb. im Laborator.	31	67.11	2.033	35.2	1163.3		Atwater, Mittel von 5 vier- tägigen Versuchen
23	Cand. d. Med.	26	65.56	2.002	36.8	1203.7		Johansson, Tigerstedt
24	Cand. d. Med.	26	63.98	1.970	38.1	1237.0		dies.
25	Cand. d. Med.	26	67.48	2.041	40.1	1325.3		dies.
E								
26	Studirender	24	57.15	1.836	32.1	1000.0	1073	Andersson u. Bergman
27	Arzt	31	54.99	1.780	36.0	1111.8		Sondén und Tigerstedt
28	Schneider	36	52.70	1.731	36.4	1107.4		Pettenkofer und Voit

Die Tab. XI zeigt eine stattliche Reihe von Versuchen, welche alle darauf hinausgehen, den Umfang der Zersetzungs Vorgänge im Körper des erwachsenen, nicht arbeitenden Menschen zu messen, und vielleicht könnte man meinen, dass weitere Untersuchungen über diese

Frage überflüssig wären. Eine nähere Betrachtung der Tabelle wird doch meines Erachtens die Unzulässigkeit einer solchen Folgerung klar machen.

Wenn man die Gruppe *A*, welche Personen im hohen Alter umfasst, mit der Gruppe *D* vergleicht, wo junge Personen von gleichem Körpergewicht aufgezeichnet sind, so springt die Verschiedenheit der Zersetzungsgrösse ins Auge. Es sind aber nur 3 Versuche mit alten Individuen ausgeführt, und es ist möglich, dass, wenn mehrere gemacht worden wären, die Vergleichung ein anderes Ergebniss ergeben hätte. Stehen ja für einige Versuche mit jungen Personen Werthe da, die nicht höher sind als diejenigen, welche in der Gruppe *A* sich finden. Aber auch wenn eine Einschränkung in der Zersetzungsgrösse bei alten Individuen thatsächlich besteht, lässt sich die Ursache zu diesem Verhältnisse aus den vorliegenden Versuchen nicht ersehen.

Berücksichtigt man die aus den Gruppen *C*, *D* und *E* gewonnenen Durchschnittszahlen, so scheinen sie das Oberflächengesetz von Rubner sehr schön zu bestätigen. Es muss doch bemerkt werden, dass die Versuche in Gruppe *E* verhältnissmässig wenige sind, um direct mit den Gruppen *C* und *D* verglichen zu werden. Die Gruppe *B* mit sehr grossen Personen zeigt, wie vorsichtig man bei Vergleichung der Durchschnittszahlen sein muss. Die beiden Versuche hier sind Hungerversuche, die natürlich nur mit Hungerversuchen aus den anderen Gruppen zusammengestellt werden dürfen.

Sehen wir übrigens die Versuchspersonen der Tab. XI ihrem Berufe nach an, so finden wir fast ausschliesslich mit geistiger Thätigkeit beschäftigte Menschen, während kaum ein einziger da war, welcher bei seiner gewöhnlichen Arbeit starke Muskelbewegungen auszuführen hatte. Ob der Kraftwechsel im Ruhezustande bei diesen beiden Kategorien von Menschen gleich intensiv ist, ist von vornherein nicht zu ersehen.

Bei solcher Sachlage habe ich der Anregung von Prof. Dr. Robert Tigerstedt sehr gern Folge geleistet und in seinem Laboratorium zwei Versuchsreihen ausgeführt, welche 13 Soldaten im jungen, kräftigen Alter und 10 mehr oder weniger erwerbsunfähige Greise umfassten. Es war mir der Vortheil vergönnt, dazu noch 10 Versuche legen zu können, die Prof. Tigerstedt selbst mit Studenten der Medicin angestellt und mir zur Veröffentlichung überlassen hatte.

Ehe ich die Ergebnisse meiner Versuche entwickele, erlaube ich mir, Hrn. Prof. Tigerstedt, der meiner Arbeit stets mit Rath und That fördernd zur Seite gestanden hat, meinen besten Dank abzustatten.

III. Eigene Versuche.

1.

Die Gasanalysen wurden mit Hilfe des von Sondén und Tigerstedt gebauten Respirationsapparates ausgeführt. Wie bekannt, wird in diesem Apparate der Kohlensäuregehalt der Respirationskammerluft momentan bestimmt. Tigerstedt analysirte bei den Versuchen mit Studenten der Medicin den Kohlensäuregehalt in 12 stündigen Perioden. In der Zwischenzeit wurde die Kammer gar nicht ventilirt. Die Temperaturschwankungen während der Versuchsdauer notirte ein selbstregistrierender Thermometer. Die Resultate der Analysen sind nach der folgenden Formel berechnet:

$$C = B_2 R_2 \left[\gamma (A + V) - 0.82 \times V \right] - A B_1 \left(\beta R_1 + \xi \frac{t}{273} R_0 \right).$$

Bezeichnungen.

C = Kohlenstoff (Gramm).

A = Luftcubus der Respirationskammer = 100.4 cbm .

V = Menge (Cubikmeter) der während der Versuchsperiode ausventilirten Luft.

β = Kohlensäuregehalt ‰ der Kammerluft am Anfange der Versuchsperiode.

γ = Kohlensäuregehalt der Luft am Ende der Periode.

ξ = Kohlensäuregehalt; Mittelwerth der Luft, welche während der Periode durch Temperaturdifferenz ausgetreten oder hineingekommen ist.

t = Die Grösse dieser Temperaturdifferenz ($^{\circ} \text{C}$).

B_1 = Barometerstand (corrigirt für die Temperatur) beim Anfange der Versuchsperiode.

B_2 = Barometerstand am Ende.

R_1 = Reductionsfaktor, um C zu berechnen bei der Temperatur am Anfange.

R_2 = Reductionsfaktor, um C zu berechnen bei der Temperatur am Ende der Periode.

R_0 = Reductionsfaktor, um die C -Menge zu berechnen, welche durch Temperaturdifferenz ein- oder ausgetreten ist, Mittelwerth nach dem Ausschlag des registirenden Thermometer.

Bei meinen Versuchen wurde die Respirationskammer während der ganzen Versuchszeit ventilirt; die ausventilirte Luftmenge betrug im Durchschnitt 8.5 m^3 in der Stunde. Ich benutzte für die Entnahme der Luftproben den von Johansson (25, S. 147) hergestellten Apparat und analysirte den Kohlensäuregehalt in vierstündigen Perioden.

Bei der Correction der in den Gasuhren abgelesenen Luftmenge für die Ungleichheit der Temperatur und die Feuchtigkeit in den Gasuhren und der Respirationskammer wurde die von Johansson (25, S. 140) zusammengestellte Tabelle verwerthet.

Die Berechnung der Kohlensäuremenge wurde ausgeführt nach der von Johansson (25, S. 141) angegebenen Formel:

$$\text{CO}_2 \text{ g} = 1.966 \cdot \frac{1}{1 + \alpha \frac{t_2}{t_1}} \cdot \frac{B - P}{760} \left[A (\beta_2 - \beta_1) + V \cdot \frac{\beta_1 - \beta_2}{2} - 0.32 V \right] .$$

Das Volumen der Respirationskammer betrug 100.8 ccm.

Wie Johansson hervorhebt, hängt die Genauigkeit der Berechnung des Werthes CO_2 hauptsächlich von der Sorgfalt ab, mit welcher der Unterschied $\beta_2 - \beta_1$ des Kohlensäuregehaltes der Kammerluft am Anfange und am Ende der Periode bestimmt werden kann. Es wurden Doppelanalysen gemacht, die im Allgemeinen der Schätzung nach nicht mehr als 0.004 pro Mille von einander differirten.

Um die Genauigkeit zu prüfen, welche mit dem Apparate im Ganzen zu erreichen ist, haben Sondén und Tigerstedt (67, S. 35—45) und besonders Johansson (26, S. 95) eine grosse Anzahl von Controlversuchen angestellt. Es wurden dabei genau abgewogene Mengen Petroleum in einer Lampe verbrannt.

Bei einer Untersuchungsreihe über die Verbrennungswärme verschiedener Beleuchtungsmaterialien will Cramer (14) gefunden haben, dass die Verbrennung des Petroleums nicht gleichmässig verläuft. Im Anfange der Verbrennung, etwa in den ersten $1\frac{1}{2}$ Stunden, fand er stets eine Ausscheidung und Ablagerung von Kohlenstoff an dem Dochte und dem Dochtträger.

Hierdurch entstand in dreistündigen Versuchen ein Verlust von etwa 15 Proc. Kohlenstoff. Bei länger dauernden Versuchen stellte sich kein oder nur ein sehr geringer Verlust ein, weil der abgelagerte Kohlenstoff, nachdem der Dochtträger genügend erwärmt worden war, wieder verbrannte. Nach den Ergebnissen von Cramer zu urtheilen, sind mithin Controlversuche mit Petroleumlampen nicht ganz zuverlässig.

Nun wandte aber Cramer eine Lampe an, die sehr klein war und in einer Stunde nur 2.5 g Petroleum verbrannte. Dass die Verbrennung in einer so kleinen Lampe unvollständig war, darf nicht Wunder nehmen. Von den bei den hiesigen Controlversuchen angewandten Lampen verbrannte die grössere 150 bis 200 g, die kleinere etwa 15 g Petroleum stündlich. Uebrigens nahm auch Cramer bei längere Zeit dauernden Versuchen eine vollständige Verbrennung wahr. Der Controlversuch A von Sondén und Tigerstedt dauerte $7\frac{1}{2}$ Stunden; es wurden 105.4 g Oel in der Lampe verbrannt, 89.6 g Kohlenstoff in dem Oel berechnet und 88.9 g gefunden. In den Controlversuchen von Johansson, die nur eine Stunde und darunter dauerten, stellte sich ein kleiner, constanter Fehler in negativer Richtung ein. Wenn hier, wie Johansson (26, S. 96) vermuthet, eine unvollständige Verbrennung stattfand, liefern diese Versuche den Beweis, dass der Apparat den entstandenen Kohlesäureverlust zu notiren vermochte, und zeigen, dass die Genauigkeit der Methode noch grösser ist, als aus der Berechnung der Controlversuche zu schliessen wäre.

Ich habe zwei Controlversuche gemacht, deren Protocolle ich hier mittheile.

Controlversuche am 28. März und 25. Mai 1899.

Kleine Lampe, Astralöl, enthaltend 85.4 Proc. C.

Zeit	Volumen der aus- strömend. Luft cbm	In d. Respirationskammer			CO ₂		Barometerstand, correctirt
		Tempe- ratur, Mittel	Feuch- tigkeit, Mittel mm	CO ₂ -Ge- halt pro Mille beobacht.	ge- funden g	be- rechnet g	
A {	10 ^h 12'	8.48	19.2°	4.8	{0.612	47.19	752.9
					{0.616		
	11 ^h 12'				{0.840		
					{0.840		
B {	11 ^h 55'	18.10	16.6	8.0	{0.970	94.3	757.8
					{0.970		
	1 ^h 55'	18.29	17.0	8.0	{1.334	92.2	757.2
					{1.336		
	3 ^h 55'				{1.626		
					{1.628		
					186.5	189.5	752.2

Bei starkem Winde liegt die Möglichkeit vor, dass Luft aus der Kammer durch die Frischluftventile ausgesaugt werden kann. Bei dem ersten von meinen Controlversuchen blies ein starker Wind von Nordwest. Wenn eine Aussaugung von Luft während dieses Versuches stattfand, so muss sie doch ganz unerheblich gewesen sein. Ich will übrigens hinzufügen, dass bei starkem Winde keine Versuche gemacht werden, und dass bei meinen Versuchen niemals so starker Wind war, als bei dem Controlversuche A.

2.

Der Plan bei den von mir ausgeführten Versuchen war folgender:

Die Versuchspersonen traten Morgens nüchtern in den Respirationssapparat hinein, genossen während des Tages eine in drei Mahlzeiten vertheilte Kost, und sonst vertrieben sie sich die Zeit mit Lesen und Schreiben. Abends kleideten sie sich aus, legten sich in ein gepolstertes Bett und schliefen die Nacht über. Am anderen Morgen, nach 24 stündiger Versuchsdauer, wurden sie wieder herausgelassen, sie verhielten sich mit einem Worte wie im gewöhnlichen Leben, wenn sie keine körperliche Arbeit zu leisten hatten.

Allen wurde eine Nahrung zugetheilt, die aus denselben Speisen bestand und in gleicher Weise zubereitet war. Die Kost stand ihnen

nach Belieben zur Verfügung, die Menge der genossenen Speisen ward aber genau abgewogen.

Den Gehalt der verschiedenen Speisen an Nährstoffen berechnete ich nach vorliegenden Analysen. Dass ich mir hierdurch nur eine annähernd richtige Kenntniss von den Nährstoffmengen, welche von den Versuchspersonen aufgenommen wurden, verschaffen konnte, ist selbstverständlich. Die hierdurch entstandene Unsicherheit dürfte doch die Ergebnisse der Versuche nicht wesentlich ändern. Der Wärmewerth der Kost ist nach den von Rubner (57, S. 377) angegebenen Standardzahlen (1^s Eiweiss = 4.1, 1^s Fett = 9.3, 1^s Kohlehydrate = 4.1 und 1^s Alkohol = 7 Cal.) berechnet.

Die zu der Versuchszeit gehörige 24 stündige Harnmenge wurde sorgfältig gesammelt, mit etwas Chloroform versetzt, aufbewahrt und ihr N-Gehalt durch Doppelanalysen nach Kjeldahl bestimmt. Den C-Gehalt des Harns berechnete ich nach dem Verhältniss: N:C = 1:0.7.¹

Da ich die Versuchspersonen nur am Versuchstage zu Gesicht bekam, konnte keine Untersuchung über die Ausnutzung der Kost vorgenommen werden.

Wenn, wie allgemein angenommen, alle eingeführten Kohlehydrate zerfallen, bevor Fett angegriffen wird, ist es indessen wichtig, das während des Versuchstages resorbierte Kohlehydratquantum zu kennen. Dies musste bei meinen Versuchen geschätzt werden.

Die Kohlehydrate werden bekanntlich sehr gut ausgenutzt. Atwater und Rosa (6) fanden, um ein Beispiel anzuführen, dass die Kohlehydrate bei gemischter Kost im Durchschnitt mit 98 Proc. ausgenutzt wurden. Eine so gute Ausnutzung habe ich doch nicht anzunehmen gewagt. Die Versuchsperson von Atwater und Rosa genoss ein Brod, das aus decorticirtem Korn bereitet war, die Mehrzahl von meinen Versuchspersonen aber nicht unerhebliche Mengen von hartem Roggenbrod aus ganzem Mehl (Spisbröd).

Hultgren und Landergren (19) haben die Ausnutzung von solchem Brod untersucht und einen Verlust von etwa 10 Proc. gefunden.

¹ Pflüger (46, S. 237) berechnet aus Voit's Analysen im Harn des Hundes bei Fleischkost das Verhältniss N:C = 1:0.67. Aus 20 Einzelbestimmungen von Atwater und Benedict (3, S. 42—73. 85. 97. 109) im menschlichen Harn bei gemischter Kost geht das Verhältniss N:C = 1:0.70 hervor. Johansson, Landergren, Sondén und Tigerstedt (27, S. 78) fanden in 4 Bestimmungen bei gemischter Kost den durchschnittlichen Werth von N:C = 1:0.765. Tangl (68) hat den Kohlenstoffquotienten des Harns bei überwiegender Ernährung mit Kohlehydraten bedeutend grösser gefunden, als bei vorwiegender Ernährung mit Fett.

Ich dürfte der Wahrheit am nächsten kommen, wenn ich annehme, dass 5 Proc. von den Kohlehydraten im Darne verloren gegangen sind. Durch diese Annahme bin ich auch mit dem Befunde von Johansson, Landergren, Sondén und Tigerstedt in Uebereinstimmung gekommen. Ihre Versuchsperson genoss eine Kost, welche der bei meinen Versuchen vorkommenden sehr ähnlich war, und nutzte die Kohlehydrate bis zu etwa 95 Proc. aus.

Einige von den Versuchspersonen nahmen kleine Mengen Alkohol mit Bier auf. Die Alkoholmengen sind als im Ganzen verbrannt betrachtet worden.

3.

Ich lege in Folgendem aus den Versuchsprotokollen einige Notizen betreffs der Versuchspersonen, der von ihnen aufgenommenen Nahrung und ihres sonstigen Verhaltens vor.

Versuch I (begann 23. Febr. 1899, 8^h Vorm.). E. M., Soldat im „Svea Ingeniörbataljon“; 20 Jahre alt; Körperlänge 178 cm; Körpergewicht ohne Kleider am Anfang des Versuches 63·70^{kg}, am Ende 63·66^{kg}; gesund,¹ mager, von etwas zartem Körperbau. Hat sich die Zeit grösstentheils im Bette liegend mit Lesen vertrieben; schlief am Tage von 10^h bis 12^h, in der Nacht von 9^h bis 6^h.

Nahrung.

Febr. 23	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- Substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	455	248·1	206·9	12·0	13·9	25·9	60·1	116·2	—	1141·5
Mittagsessen	818	509·6	311·4	97·8	8·3	106·1	47·1	158·3	—	1522·2
Abendbrod	538	380·9	157·1	11·0	11·8	22·8	42·0	92·3	—	862·5
Wasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	1811	1138·6	675·4	120·8	34·0	154·8	149·2	366·8	—	3526·2
					Cal.	634·7	1387·5	1503·9		

Versuch II (begann 28. Febr. 1899, 8^h Vorm.). E. G., Soldat im S. L., 19 Jahre alt; Körperlänge 171 cm; Gewicht am Anfang 66·70^{kg}, am Ende 66·50^{kg}; gesund, gut genährt und kräftig gebaut. Die Zeit vertrieb er sich, auf einem Stuhle sitzend, mit Lesen; schlief am Tage von 12 bis 2^h, in der Nacht mit Unterbrechungen von 10 bis 7^h.

¹ Ich will hier bemerken, dass ich speciell den Harn meiner Versuchspersonen auf Eiweiss und Zucker untersucht habe.

Nahrung.

Febr. 28.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
Frühstück	g 701	g 489.8	g 211.2	g 22.9	g 10.7	g 33.6	g 72.2	g 100.0	g —	1219.2
Mittagsessen	1339	888.2	450.8	99.9	11.6	111.5	41.7	233.5	—	1802.5
Abendbrod	717	526.6	190.4	19.1	9.8	28.9	58.1	97.9	—	1060.0
Wasser	280	280.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	3037	2184.6	852.4	141.9	32.1 Cal.	174.0 713.4	172.0 1599.6	431.4 1768.7	—	4081.7

Versuch III (begann 2. März 1899, 9^h Vorm.). O. O., Soldat im S. I.; 22 Jahre alt; Körperlänge 178^{cm}; Gewicht am Anfang 68.20^{kg}, am Ende 68.65^{kg}; gesund, gut genährt; von zartem Körperbau. Hält sich während des Versuches sehr still.

Nahrung.

März 2.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
Frühstück	g 567	g 431.4	g 135.6	g 10.1	g 8.7	g 18.8	g 41.4	g 70.5	g —	751.1
Mittagsessen	1208	838.0	370.0	94.5	9.1	103.6	36.7	203.8	—	1601.6
Abendbrod	532	438.9	93.1	11.0	5.2	16.2	25.4	49.7	—	506.4
Wasser	660	660.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2967	2368.3	598.7	115.6	23.0 Cal.	138.8 568.3	103.5 962.5	324.0 1328.8	—	2859.1

Versuch IV (begann am 7. März 1899, 8^h Vorm.). E. E., Soldat im S. I.; 22 Jahre alt; Körperlänge 183^{cm}; Gewicht am Anfang 73.80^{kg}, am Ende 73.50^{kg}; gesund, mager; von sehr kräftigem Körperbau. Mit Zeichnen, Schreiben und Lesen beschäftigt; ist im Zimmer etwas umhergegangen; schlief am Tage von 3 bis 6^h, in der Nacht von 12 bis 7^h.

Nahrung.

März 7.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- Substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	667	446.3	220.7	18.2	12.7	30.9	64.0	120.9	—	1207.5
Mittagsessen	1450	991.0	459.0	125.6	8.3	133.9	43.0	247.2	—	1962.4
Abendbrod	772	595.0	177.0	11.4	8.8	20.2	52.1	101.7	—	994.3
Wasser	145	145.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	3034	2177.3	856.7	155.2	29.8	185.0	159.1	469.8	—	4164.2
					Cal.	758.5	1479.6	1926.1		

Versuch V (begann am 9. März 1899, 8^h Vorm.). J. J., Soldat im S. I.; 23 Jahre alt; Körperlänge 174^{cm}; Gewicht am Anfang 72.70^{kg}, am Ende 72.20^{kg}; gesund, gut genährt und kräftig gebaut. Meistentheils still gesessen, mit Lesen beschäftigt; schlief am Tage nicht, in der Nacht von $\frac{1}{2}$ 11 bis 6^h.

Nahrung.

März 9.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Akohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	681	448.0	233.0	17.6	13.4	31.0	72.3	124.3	—	1309.1
Mittagsessen	1446	998.9	447.1	109.1	8.7	117.8	46.0	229.6	—	1852.2
Abendbrod	800	558.5	241.5	21.3	11.0	32.3	85.4	117.5	—	1408.4
Wasser	255	255.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	3182	2260.4	921.6	148.0	33.1	181.1	203.7	471.4	—	4569.7
					Cal.	742.5	1760.5	2066.7		

Versuch VI (begann am 14. März 1899, 8^h Vorm.). M. H., Soldat im S. I.; 19 Jahre alt; Körperlänge 171^{cm}; Gewicht am Anfang 60.85^{kg}, am Ende 60.97^{kg}; etwas anämisch, mager, von zartem Körperbau. Mit Lesen beschäftigt; schlief am Tage nicht, in der Nacht von 8 bis 6^h.

Nahrung.

März 14.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	850	566.8	283.7	24.9	13.5	38.4	103.0	185.5	—	1670.8
Mittagsessen	1608	1085.2	522.8	147.9	10.0	157.9	48.7	287.0	—	2277.0
Abendbrod	748	517.2	230.8	14.9	12.0	26.9	60.6	139.2	—	1254.5
Wasser	700	700.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	3906	2868.7	1037.3	187.7	35.5	223.2	212.3	561.7	—	5202.3
					Cal.	915.1	1974.4	2312.8		

Versuch VII (begann am 17. März 1899, 8^h Vorm.). A. K., Soldat im S. I.; 19 Jahre alt; Körperlänge 167^{cm}; Gewicht am Anfang 62.55^{kg} (?), am Ende 61.00^{kg}; etwas anämisch, mager, von gewöhnlichem Körperbau. Mit Lesen beschäftigt; schlief am Tage nicht, in der Nacht von $\frac{1}{2}$ 10 bis 6^h.

Nahrung.

März 17.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	499	347.2	151.8	12.2	7.6	19.8	49.2	78.1	—	860.9
Mittagsessen	840	491.9	348.1	91.0	10.5	101.5	22.2	201.4	—	1448.2
Abendbrod	587	413.9	173.1	10.3	11.0	21.3	32.7	104.3	—	819.2
Wasser	26	26.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	1952	1279.0	673.0	113.5	29.1	142.6	104.1	383.8	—	3128.3
					Cal.	584.7	968.1	1575.5		

Versuch VIII (begann am 21. März 1899, 8^h Vorm.). A. K., Soldat im S. I.; 21 Jahre alt; Körperlänge 166^{cm}; Gewicht am Anfang 62.90^{kg}, am Ende 62.40^{kg}; gesund, mager, von gewöhnlichem Körperbau. Am Tage im Bette liegend, vertreibt sich die Zeit durch Lesen; schlief am Tage nicht; in der Nacht aber gut, mehrere Stunden, kann nicht sagen wie viele.

Nahrung.

März 21.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	638	449.8	183.7	17.4	8.8	25.7	66.8	86.3	—	1080.4
Mittagsessen	1376	942.9	438.1	120.2	13.4	133.6	53.9	228.6	—	1936.8
Abendbrod	746	535.7	210.3	22.9	8.5	31.4	66.8	105.6	—	1188.9
Wasser	230	230.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2985	2157.9	827.1	160.5	30.2	190.7	187.5	420.5	—	4250.6
					Cal.	781.9	1744.7	1724.0		

Versuch IX (begann am 24. März 1899, 8^h Vorm.) V. L., Soldat im S. I.; 24 Jahre alt; Körperlänge 167 cm; Gewicht am Anfang 61.35 kg, am Ende 60.57 kg; gesund, mager, von gewöhnlichem Körperbau. In einem Stuhle sitzend, mit Lesen beschäftigt; schlief am Tage nicht, in der Nacht von 11 bis 5^h.

Nahrung.

März 24.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	606	433.4	172.6	14.0	8.7	22.7	55.6	90.8	—	980.4
Mittagsessen	1216	836.8	379.2	102.9	8.0	110.9	37.8	210.2	—	1663.4
Abendbrod	568	422.3	145.7	11.0	7.6	18.6	47.1	77.0	—	880.0
Wasser	795	795.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	3185	2487.5	697.5	127.9	24.3	152.2	140.0	377.5	—	3473.8
					Cal.	624.0	1302.0	1547.8		

Versuch X (begann am 28. März 1899, 8^h Vorm.) J. F., Soldat im S. I.; 25 Jahre alt; Körperlänge 165 cm; Gewicht am Anfang 65.80 kg, am Ende 65.20 kg; gesund, mager, kräftig gebaut. Ziemlich viel in Bewegung; schlief am Tage von 9 bis 11^h, in der Nacht von 9 bis 4^h.

Nahrung.

März 28.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier- Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
Frühstück	g 767	g 500.8	g 266.2	g 20.5	g 13.4	g 33.9	g 96.6	g 128.0	g —	1562.2
Mittagsessen	1278	889.0	389.0	107.2	8.1	115.3	37.9	210.9	—	1689.9
Abendbrod	806	568.7	237.3	17.5	12.0	29.5	74.8	127.3	—	1338.5
Wasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2851	1958.5	892.5	145.2	33.5	178.7	209.3	466.2	—	4590.6
					Cal. 732.7	1946.5	1911.4			

Versuch XI (begann am 30. März 1899, 8^h Vorm.). E. C., Soldat im S. I.; 23 Jahre alt; Körperlänge 171 cm; Gewicht am Anfang 56.20 kg, am Ende 55.20 kg; gesund, mager, von zartem Körperbau. Still gesessen; schlief am Tage nicht, in der Nacht von 9 bis 6^h 30'.

Nahrung.

März 30.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier- Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
Frühstück	g 439	g 271.3	g 167.7	g 18.1	g 9.4	g 27.5	g 57.5	g 77.4	g —	964.8
Mittagsessen	1095	771.1	323.9	93.3	7.5	100.8	35.7	169.9	—	1441.9
Abendbrod	649	501.5	147.5	11.5	8.0	19.5	41.9	82.5	—	807.8
Wasser	380	380.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2563	1923.9	639.1	122.9	24.9	147.8	135.1	329.8	—	3214.5
					Cal. 606.0	1256.4	1352.1			

Versuch XII (begann am 4. April 1899, 8^h Vorm.). M. S., Soldat im S. I.; 23 Jahre alt; Körperlänge 165 cm; Gewicht am Anfang 57.70 kg, am Ende 57.80 kg; gesund, gut genährt, von gewöhnlichem Körperbau. Still gesessen, mit Lesen beschäftigt; schlief am Tage nicht, in der Nacht von 10 bis 6^h.

Nahrung.

April 4.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	636	413.2	222.8	24.3	10.8	35.1	76.6	104.8	—	1286.0
Mittagsessen	1218	839.5	378.5	105.6	10.4	116.0	38.6	203.1	—	1667.3
Abendbrod	760	622.5	137.5	14.0	6.5	20.5	42.3	69.6	—	762.8
Wasser	200	200.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2814	2075.2	738.8	143.9	27.7	171.6	157.5	377.5	—	3716.1
					Cal.	703.6	1464.8	1547.7		

Versuch XIII (begann am 7. April 1899, 8^h Vorm.). V. L., Soldat im S. I.; 21 Jahre alt; Körperlänge 169 cm; Gewicht am Anfang 62.40 kg, am Ende 60.80 kg; gesund, gut genährt, von kräftigem Körperbau. Wenig in Bewegung; schlief am Tage nicht, in der Nacht von 9^h 30' bis 4^h.

Nahrung.

April 7.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Akohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	524	394.3	129.7	14.0	5.4	19.4	51.3	55.8	—	785.4
Mittagsessen	925	624.8	300.2	85.3	6.7	92.0	26.7	162.3	—	1291.0
Abendbrod	535	448.8	86.2	8.4	3.5	11.9	23.5	48.2	—	464.9
Wasser	218	218.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2202	1685.9	516.1	107.7	15.6	123.3	101.5	266.3	—	2541.3
					Cal.	505.5	944.0	1091.8		

Versuch XIV (begann am 27. April 1899, 8^h 35' Vorm.). Ch. S., ehemals Kaufmann, zur Zeit Pflegling in dem Greisenhause der Bürgerschaft von Stockholm; 70 Jahre alt; Körperlänge 170 cm; Gewicht¹ am Anfang 61.00, am Ende 60.70 kg; ein gesunder, magerer und sehr rüstiger alter Mann. Sitzend in einem Stuhle, den Tag über mit Lesen

¹ Die alten Personen waren beim Wägen in Hemd und Unterjacke, Hosen, Unterhosen und Strümpfen gekleidet. Ich habe das Gewicht von diesen Kleidern nach Probewägungen zu 1.8 kg gefunden und von dem bei der Wägung erhaltenen Körpergewicht abgezogen.

beschäftigt; von dem Geräusche der Maschine etwas beunruhigt; schlief nach dem Mittagessen $2\frac{1}{2}$ Stunden von 2 bis 4^h 30', in der Nacht von 8 bis 4^h, aber sehr unruhig.

Nahrung.

April 27.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	637	496.5	140.5	2.9	6.4	9.3	50.2	79.0	—	828.9
Mittagessen	955	667.4	287.6	77.9	6.4	84.3	18.2	162.7	7.8	1232.1
Abendbrod	717	546.4	170.6	21.0	6.4	27.4	52.6	83.9	—	949.1
Wasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2309	1710.3	598.7	101.8	19.2	121.0	121.0	325.6	7.8	3010.1
					Cal.	496.1	1125.8	1337.6	51.1	

Versuch XV (begann am 2. Mai 1899, 8^h 5' Vorm.). K. W., ehemals Kaufmann, zur Zeit Pflegling in dem Greisenhause; 81 Jahre alt; Körperlänge 160^{cm}; Gewicht am Anfang 63.85^{kg}, am Ende 63.70^{kg}; gesund, etwas fettleibig, rüstig. Am Tage nicht, in der Nacht sehr unruhig geschlafen.

Nahrung.

Mai 2.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	646	495.9	150.1	13.6	6.2	19.8	56.2	70.3	—	892.1
Mittagessen	1108	749.7	358.3	87.3	11.4	98.7	21.2	211.9	7.2	1521.0
Abendbrod	611	465.3	145.7	13.3	5.3	18.6	45.8	67.6	—	779.3
Wasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2365	1710.9	654.1	114.2	22.9	137.1	123.2	349.8	7.2	3192.4
					Cal.	562.1	1145.8	1434.1	50.4	

Versuch XVI (begann am 5. Mai 1899, 8^h 5' Vorm.). U. C., ehemals Kaufmann, zur Zeit Pflegling des Greisenhauses; 74 Jahre alt; Körperlänge 165^{cm}; Gewicht am Anfang 69.30^{kg}, am Ende 69.70^{kg}; gesund, etwas fettleibig, sehr rüstig. Den Tag und den grössten Theil der Nacht sitzend in einem Stuhle mit Lesen zugebracht; in der Nacht nur von 5 bis 8^h geschlafen.

Nahrung.

Mai 5.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	428	286.4	141.6	12.1	7.1	19.2	46.2	72.8	—	806.9
Mittagsessen	816	561.5	254.5	85.0	6.3	91.3	20.6	134.3	3.8	1143.1
Abendbrod	311	243.5	67.5	0.1	3.0	3.1	11.2	52.4	—	331.7
Wasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	1555	1091.4	463.6	97.2	16.4	113.6	78.0	259.5	3.8	2281.7
					Cal.	465.8	715.4	1073.9	26.6	

Versuch XVII (begann am 8. Mai 1899, 8^h Vorm.). E. H., ehemals Tischler, zur Zeit Pflegling im Greisenhause; 81 Jahre alt; Körperlänge 162 cm; Gewicht am Anfang 58.80 kg, am Ende 59.10 kg; gesund und rüstig. Fast die ganze Zeit im Bette gelegen, mit Lesen beschäftigt; schlief am Tage von 2 bis 4^h, in der Nacht von 8 bis 5^h; etwas schwerhörig, von dem Geräusch nicht geplagt.

Nahrung.

Mai 8.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	676	489.6	186.4	9.3	9.7	19.0	54.6	109.4	—	1034.7
Mittagsessen	897	635.6	261.4	64.6	8.5	73.1	16.0	149.5	7.2	1111.4
Abendbrod	468	383.4	84.6	5.5	2.2	7.7	33.7	41.9	—	516.8
Wasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2041	1508.6	532.4	79.4	20.4	99.8	104.3	300.8	7.2	2662.9
					Cal.	409.2	970.0	1233.3	50.4	

Versuch XVIII (begann am 12. Mai, 8^h Vorm.). E. J., ehemals Tischler, zur Zeit Pflegling im Greisenhause; 81 Jahre alt; Körperlänge 160 cm; Gewicht am Anfang 59.00 kg, am Ende 59.40 kg; Tremor senilis, aber sonst gesund; bewegt sich ziemlich leicht. Den Tag sitzend in einem Stuhle zugebracht; schlief am Tage nicht, in der Nacht von 10 bis 4^h.

Nahrung.

Mai 12.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
Frühstück	g 586	g 480.9	g 155.1	g 15.0	g 5.3	g 20.3	g 50.7	g 80.2	g —	883.6
Mittagsessen	820	583.8	236.2	66.4	5.3	71.7	15.7	122.9	14.2	1043.3
Abendbrod	686	524.9	161.1	19.9	7.9	27.8	22.5	94.9	—	712.3
Wasser	185	135.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2227	1674.6	552.4	101.3	18.5 Cal. 491.2	119.8 826.8	88.9 1221.8	298.0 99.4	14.2	2639.2

Versuch XIX (begann am 23. Mai 1899, 8^h Vorm.). P. L., ehemals Kaufmann, zur Zeit Pflingling im Greisenhause; 74 Jahre alt; Körperlänge 155 cm; Gewicht am Anfang 74.40 kg, am Ende 75.05 kg; gesund, etwas fettleibig, sehr stark und kräftig; macht den Eindruck viel jünger zu sein. Sitzend in einem Stuhle, mit Lesen beschäftigt, bisweilen promenierend; schlief am Tage etwa eine Stunde, in der Nacht mit Unterbrechungen von 10 bis 3^h; befand sich im Apparate sehr wohl.

Nahrung.

Mai 23.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
Frühstück	g 702	g 502.6	g 199.4	g 19.6	g 9.3	g 28.9	g 60.4	g 104.1	g —	1107.0
Mittagsessen	1320	889.1	430.9	105.6	14.8	120.4	25.2	255.6	7.3	1827.0
Abendbrod	640	472.6	167.4	13.1	8.2	21.3	51.3	79.1	—	888.7
Wasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2662	1864.3	797.7	138.3	32.3 Cal. 699.4	170.6 1273.1	136.9 1799.1	438.8 51.1	7.3	3822.7

Versuch XX (begann am 26. Mai, 8^h Vorm.). J. V., ehemals Schuhmacher, zur Zeit Pflingling im Greisenhause; 73 Jahre alt; Körperlänge 156 cm; Gewicht am Anfang 49.60 kg, am Ende 50.00 kg; gesund, mager, zart gebaut. Viel in Bewegung; schlief am Tage nicht, legte sich am Abend 9^h zu Bette, schlief von 11^h 30' bis 6^h.

Nahrung.

Mai 26.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	604	445.5	158.5	13.8	6.8	20.6	52.1	81.9	—	904.8
Mittagsessen	1073	752.6	320.4	88.5	9.3	97.8	21.0	177.1	7.3	1373.4
Abendbrod	697	527.1	169.9	11.5	9.0	20.5	52.3	98.4	—	953.4
Wasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2374	1725.2	648.8	113.8	25.1	138.9	125.4	352.4	7.3	3231.6
					Cal.	569.5	1166.2	1444.8	51.1	

Versuch XXI (begann am 29. Mai 1899, 9^h 30' Vorm.). C. O., ehemals Metzger, zur Zeit Pflegling im Greisenhause; 74 Jahre alt; Körperlänge 170^{cm}; Gewicht am Anfang 68.70^{kg}, am Ende 68.70^{kg}; gesund, etwas fettleibig, sehr rüstig. Etwas in Bewegung; schlief am Tage nicht; in der Nacht mit Unterbrechungen von 9 bis 4^h 30'.

Nahrung.

Mai 29.]	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	566	434.4	131.6	7.5	6.8	14.3	37.1	76.4	—	716.9
Mittagsessen	898	631.7	266.3	68.3	7.2	75.5	16.3	146.6	14.1	1160.9
Abendbrod	658	518.0	135.0	8.9	7.1	16.0	36.8	79.7	—	729.9
Wasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2117	1584.1	532.9	84.7	21.1	105.8	89.7	302.7	14.1	2607.7
					Cal.	433.8	834.2	1241.0	98.7	

Versuch XXII (begann am 1. Juni 1899, 8^h Vorm.). E. T., ehemals Baumeister, zur Zeit Pflegling im Greisenhause; 69 Jahre alt; Körperlänge 175^{cm}; Gewicht am Anfang 84.00^{kg}, am Ende 84.20^{kg}; etwas schwerfällig und fettleibig, kräftig gebaut. Etwas in Bewegung; schlief am Tage nicht, ging 9^h Abends zu Bette und stand 5^h 30' auf; hatte während dieser Zeit einige Stunden geschlafen.

Nahrung.

Juni 1.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	576	484.0	142.0	10.7	7.4	18.1	47.6	73.4	—	817.8
Mittagessen	1072	784.7	387.3	83.7	8.4	92.1	19.4	192.9	14.6	1451.1
Abendbrod	698	556.5	141.5	12.2	6.4	18.6	46.8	73.8	—	814.1
Wasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2846	1725.2	620.8	106.6	22.2	128.8	113.8	340.1	14.6	3083.0
					Cal.	528.1	1058.8	1394.4	102.2	

Versuch XXIII (begann am 5. Juni, 8^h 5' Vorm.). A. M., ehemals Kaufmann, zur Zeit Pflingling im Greisenhause; 68 Jahre alt; Körperlänge 164 cm; Gewicht am Anfang 68.00 kg, am Ende 68.20 kg; gesund, gut genährt, sehr rüstig. Ein wenig in Bewegung, meistens still gesessen. Am Tage nicht, in der Nacht von 10 bis 6^h unruhig geschlafen.

Nahrung.

Juni 5.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	578	407.3	170.7	16.0	9.1	25.1	53.5	86.2	—	953.9
Mittagessen	1046	722.0	324.0	79.8	7.9	87.7	18.9	184.3	14.8	1394.6
Abendbrod	479	387.2	91.8	6.2	4.1	10.3	29.1	50.2	—	518.7
Wasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2103	1516.5	586.5	102.0	21.1	123.1	101.5	320.7	14.8	2867.2
					Cal.	504.7	944.0	1314.9	103.6	

Versuch 1¹ (begann am 3. Februar 1896, 10^h 17' Vorm.). B., Student der Medicin; 23 Jahre alt; Körperlänge 181 cm; Gewicht am Anfang 63.70 kg, am Ende 64.20 kg.

¹ Die Versuche 1 bis 10 sind von Prof. R. Tigerstedt ausgeführt. Die Versuchspersonen waren alle gesunde Männer.

Nahrung.

Februar 3. 1896.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges. Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	306	123.2	182.8	10.3	8.3	18.6	34.7	124.0	—	907.4
Mittagsessen	719	445.7	278.8	100.6	5.4	106.0	24.6	126.3	—	1181.2
Abendbrod	554	446.2	107.8	19.1	2.8	21.9	26.4	55.4	—	562.5
Wasser	830	830.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2409	1845.1	568.9	180.0	16.5	146.5	85.7	305.7	—	2651.1
					Cal.	600.7	797.0	1258.4		

Versuch 2 (begann am 6. Febr. 1896, 10^h 5' Vorm.). K., Student der Medicin; 23 Jahre alt; Körperlänge 169 cm; Gewicht am Anfang 53.40 kg, am Ende 53.00 kg.

Nahrung.

Februar 6. 1896.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges. Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	293	126.3	166.7	0.4	9.8	10.2	41.5	112.9	—	890.6
Mittagsessen	805	551.4	253.6	55.0	7.0	62.0	12.8	154.3	14.2	1105.8
Abendbrod	740	609.1	180.9	31.3	2.1	33.4	36.0	55.1	—	697.7
Wasser	160	160.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	1998	1446.8	551.2	86.7	18.9	105.6	90.3	322.3	14.2	2698.6
					Cal.	483.0	839.8	1321.4	99.4	

Versuch 3 (begann am 13. Febr. 1896, 9^h 30' Vorm.). B., Student der Medicin; 22 Jahre alt; Körperlänge 172 cm; Gewicht am Anfang 58.70 kg, am Ende 58.20 kg.

Nahrung.

Februar 13. 1896.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	583	365.0	198.0	19.7	8.5	28.2	64.3	100.4	—	1124.2
Mittagsessen	730	469.1	260.9	86.4	4.4	90.8	20.6	128.7	8.2	1148.9
Abendbrod	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Wasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	1293	834.1	458.9	106.1	12.9 Cal.	119.0 487.9	84.9 789.6	229.1 938.2	8.2 57.4	2273.1

Versuch 4 (begann am 20. Febr. 1896, 9^h 30' Vorm.). L., Student der Medicin, 22 Jahre alt; Körperlänge ?; Gewicht am Anfang 62.90 kg, am Ende 68.00 kg.

Nahrung.

Februar 20. 1896.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	523	330.1	192.9	8.6	12.6	21.2	41.3	127.5	—	993.8
Mittagsessen	627	387.0	240.0	86.6	3.3	89.9	20.6	115.9	—	1035.4
Abendbrod	480	353.7	126.3	26.5	6.2	32.7	20.8	52.9	14.0	642.4
Wasser	?	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	1630	1070.8	559.2	121.7	22.1 Cal.	143.8 589.6	82.7 769.1	296.3 1214.9	14.0 98.0	2671.6

Versuch 5 (begann am 23. Febr. 1896, 9^h 30' Vorm.). E., Student der Medicin; 23 Jahre alt; Körperlänge 177 cm; Gewicht am Anfang 71.60 kg, am Ende 71.55 kg.

Nahrung.

Februar 23. 1896.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	595	427.5	167.5	18.8	8.8	27.6	31.3	103.6	—	829.0
Mittagsessen	980	686.7	293.3	81.3	8.9	90.2	19.9	153.1	14.2	1282.0
Abendbrod	820	663.2	156.8	44.1	8.9	48.0	35.5	66.5	—	799.6
Wasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	2395	1777.4	617.6	144.2	21.6	165.8	86.7	323.2	14.2	2910.6
					Cal.	679.8	806.3	1825.1	99.4	

Versuch 6 (begann am 27. Febr. 1896, 9^h 30' Vorm.). E., Student der Medicin; 23 Jahre alt; Körperlänge (?); Gewicht am Anfang 63.70 kg, am Ende 63.50 kg.

Die aufgenommenen Nahrungsmengen nicht aufgezeichnet.

Versuch 7 (begann am 5. März 1896, 8^h 55' Vorm.). G., Student der Medicin; 23 Jahre alt; Körperlänge 171 cm; Gewicht am Anfang 63.80 kg, am Ende 63.00 kg.

Nahrung.

März 5. 1896.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	418	265.4	152.6	9.8	6.1	15.9	46.3	87.2	—	853.3
Mittagsessen	1163	757.1	405.9	108.0	4.7	107.7	31.7	245.1	—	1741.3
Abendbrod	790	611.8	178.2	24.0	4.3	28.3	51.2	67.1	—	867.3
Wasser	820	820.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	3191	2454.3	736.7	136.8	15.1	151.9	129.2	399.4	—	3461.9
					Cal.	622.8	1201.6	1637.5		

Versuch 8 (begann am 9. März 1896, 9^h 10' Vorm.). K., Student der Medicin; 24 Jahre alt; Körperlänge 174 cm; Gewicht am Anfang 61.90 kg, am Ende 62.20 kg.

Nahrung.

März 9. 1896.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	2688	1849.3	838.7	177.1	35.3	212.4	124.4	466.4	—	3940.0
Mittagessen										
Abendbrod										
Wasser	200	200.0	—	—	—	—	—	—	—	
Summa	2888	2049.3	838.7	177.1	35.3	212.4	124.4	466.4	—	3940.0
					Cal.	870.8	1156.9	1912.3		

Versuch 9 (begann am 30. März 1896, 9^h 25' Vorm.). N., Student der Medicin; 24 Jahre alt; Körperlänge 171 cm; Gewicht am Anfang 64.90 kg, am Ende (?).

Nahrung.

März 30. 1896.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	435	268.6	166.4	15.6	6.1	21.7	54.1	86.6	—	947.2
Mittagessen	520	293.4	226.6	77.4	0.7	78.1	18.1	116.7	—	967.0
Abendbrod	442	332.4	109.6	19.7	2.8	22.2	32.2	50.2	—	598.4
Wasser	200	200.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	1597	1094.4	502.6	112.9	9.6	122.5	104.4	253.5	—	2512.6
					Cal.	502.3	970.9	1089.4		

Versuch 10 (begann am 13. April 1896, 9^h 25' Vorm.). B., Student der Medicin; 22 Jahre alt; Körperlänge 175 cm; Gewicht am Anfang 71.00 kg, am Ende (?).

Nahrung.

April 18. 1896.	Ges.-Gew. der Kost	Wasser	Trocken- substanz	Thier. Eiweiss	Pflanzl. Eiweiss	Ges.- Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Calorien
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Frühstück	293	125.3	167.7	0.4	9.8	10.2	41.5	113.9	—	894.7
Mittagsessen	820	557.3	262.7	55.0	7.1	62.1	21.1	154.6	14.4	1185.5
Abendbrod	740	608.1	181.9	31.8	2.1	33.4	36.0	56.1	—	701.8
Wasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summa	1853	1290.7	562.8	86.7	19.0	105.7	98.6	324.6	14.4	2782.0
					Cal.	493.4	917.0	1930.8	100.8	

Der leichteren Uebersicht wegen stelle ich die in den einzelnen Versuchen genossenen Nährstoffmengen dem Wärmewerthe nach zusammen.

Tabelle XII. Der Gehalt der Kost an Eiweiss, Fett, Kohlehydraten und Alkohol nach dem Wärmewerthe berechnet.

Versuchsnummer	Cal. aus Eiweiss		Cal. aus Fett		Cal. aus Kohlehydraten		Cal. aus Alkohol		Gesamt-Zufuhr
	im Ganzen	in Proc. der Ges.-Zufuhr	im Ganzen	in Proc. der Ges.-Zufuhr	im Ganzen	in Proc. der Ges.-Zufuhr	im Ganzen	in Proc. der Ges.-Zufuhr	
I	635	18	1387	39	1504	43	—	—	3526
II	713	17	1600	39	1769	44	—	—	4082
III	568	20	963	34	1328	46	—	—	2859
IV	759	18	1480	36	1926	46	—	—	4164
V	743	16	1760	39	2067	45	—	—	4570
VI	915	18	1974	38	2313	44	—	—	5202
VII	585	19	968	31	1575	50	—	—	3128
VIII	782	18	1745	41	1724	41	—	—	4251
IX	624	18	1302	37	1548	45	—	—	3474
X	733	16	1947	42	1911	42	—	—	4591
XI	606	19	1256	40	1352	41	—	—	3214
XII	704	19	1465	39	1547	42	—	—	3716
XIII	505	20	944	38	1092	42	—	—	2541
XIV	496	16	1125	37	1338	45	51	2	3010
XV	562	17	1146	36	1434	45	50	2	3192
XVI	466	20	715	32	1074	47	27	1	2282

Tabelle XII. (Fortsetzung.)

Versuchsnummer	Cal. aus Eiweiss		Cal. aus Fett		Cal. aus Kohlehydraten		Cal. aus Alkohol		Gesamt-Zufuhr
	im Ganzen	in Proc. der Ges.-Zufuhr	im Ganzen	in Proc. der Ges.-Zufuhr	im Ganzen	in Proc. der Ges.-Zufuhr	im Ganzen	in Proc. der Ges.-Zufuhr	
XVII	409	15	970	36	1233	47	50	2	2663
XVIII	491	19	827	31	1222	46	99	4	2639
XIX	700	18	1273	33	1799	48	51	1	3823
XX	569	17	1166	36	1445	45	51	2	3231
XXI	434	17	834	32	1241	47	99	4	2608
XXII	528	17	1058	34	1395	46	102	3	3083
XXIII	505	17	944	33	1315	46	103	4	2867
1	601	23	797	30	1253	47	—	—	2651
2	433	15	840	31	1321	50	99	4	2694
3	488	22	790	35	938	40	57	3	2273
4	590	22	769	29	1215	45	98	4	2672
5	680	23	806	28	1325	46	100	3	2911
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	623	18	1202	35	1637	47	—	—	3462
8	871	22	1157	30	1912	48	—	—	3940
9	502	21	971	39	1039	40	—	—	2513
10	433	16	917	33	1331	47	101	4	2782

Wenn man die Tab. XII durchmustert, ergibt sich, dass die Gesamtzufuhr erheblich variiert hat. Die Kost hat im Allgemeinen den Soldaten vortrefflich gemundet, den Greisen auch geschmeckt, den jungen Studenten aber nicht so gut gefallen.

Wenn der in der Tab. XII angegebene Procentgehalt berücksichtigt wird, zeigt sich, dass die Soldaten verhältnissmässig am meisten, die Studenten am wenigsten Fett genossen, diese aber mehr Eiweiss als jene; im Ganzen sind doch die Schwankungen gering.

Dass die Zusammensetzung der Nahrung meiner Versuchspersonen sehr gut mit der Kost übereinstimmt, welche von den besser situirten Ständen in Schweden gewählt wird, erhellt aus einer Vergleichung mit den Ergebnissen Hultgren's und Landergren's (20). Diese Forscher fanden in ihren Untersuchungen über die Ernährung bei frei gewählter Kost, die von sechs Personen (Studirende und Aerzte) genossen wurde, im Durchschnitt folgendes procentisches Verhältniss:

Cal. aus Eiweiss: Cal. aus Fett: Cal. aus Kohlehydr.:
 18.5 Proc. 37.2 Proc. 44.3 Proc.

Die Kost zeichnet sich durch ihren Fettreichthum aus.

4.

Betreffs der Ausgaben des Körpers in den Versuchen sind, wie schon erwähnt, der bei der Respiration abgegebene Kohlenstoff und der im Harn ausgeschiedene Stickstoff direct bestimmt. Die Kohlenstoffmenge im Harn habe ich aus dem Stickstoff berechnet ($N:C = 1:0.7$). Ich habe weiter angenommen, dass 1st umgesetzter Stickstoff mit den Fäces ausgeschieden worden ist, und dass zu diesem Stickstoff 3.3st Kohlenstoff gehören.

Tabelle XIII. Die C- und N-Abgabe während 24 Stunden bei den Studenten der Medicin.

Versuchsnummer	Versuchsperson				C; Gramm			Summa	N; Gramm		
	Alter, Jahre	Körperlänge, Centimeter	Körpergewicht, Kilogramm	CO ₂ in der ausgeathmeten Luft, Gramm	in d. ausgeathm. Luft	im Harn berechnet	im Koth angenommen		im Harn bestimmt	im Koth angenommen	Summa
1	23	181	63.85	849	231.6	12.4	3.3	247.3	17.76	1.00	18.76
2	23	169	53.20	812	221.5	8.4	3.3	233.2	12.04	1.00	13.04
3	22	172	58.45	718	195.9	10.3	3.3	209.5	14.73	1.00	15.73
4	22	?	62.95	737	201.1	11.2	3.3	215.6	15.98	1.00	16.98
5	23	177	71.57	839	228.6	12.6	3.3	244.5	18.02	1.00	19.02
6	23	?	63.60	737	200.9	10.8	3.3	215.0	15.39	1.00	16.39
7	23	171	63.15	765	208.6	10.1	3.3	222.0	14.36	1.00	15.36
8	24	174	62.05	884	241.1	13.1	3.3	257.5	18.74	1.00	19.76
9	24	171	64.90	871	237.5	14.9	3.3	255.7	21.32	1.00	22.32
10	22	175	71.00	952	250.5	16.7	3.3	270.5	23.80	1.00	24.80
Mittel	23	174	63.77	816.4	221.7	12.1	3.3	237.1	17.21	1.00	18.21

Tabelle XIV. Die C- und N-Abgabe während 24 Stunden bei den Soldaten.

Versuchsnummer	Versuchsperson			CO ₂ in der ausgeathmeten Luft; Gramm	C; Gramm			Summa	N; Gramm		
	Alter, Jahre	Körperlänge, Centimeter	Körpergewicht; Kilogramm		in der ausgeathmeten Luft	im Harn berechnet	im Koth angenommen		im Harn bestimmt	im Koth angenommen	Summa
I	20	178	63.67	715	194.9	5.3	3.3	203.5	7.62 ¹	1.00	8.62
II	19	171	66.60	892	243.2	10.7	3.3	257.2	15.27	1.00	16.27
III	22	178	68.42	771	210.2	12.9	3.3	226.4	18.41	1.00	19.41
IV	22	183	73.65	922	251.4	(11.8)	3.3	265.8	(15.83) ²	1.00	(16.83)
V	23	174	72.45	855	233.3	11.5	3.3	248.1	16.40	1.00	17.40
VI	19	171	60.91	901	245.7	11.4	3.3	260.4	16.85	1.00	17.85
VII	19	167	61.00	796	217.2	9.1	3.3	229.6	12.99	1.00	13.99
VIII	21	166	62.65	887	242.0	11.3	3.3	256.6	16.21	1.00	17.21
IX	24	167	60.96	846	230.8	11.7	3.3	245.8	16.74	1.00	17.74
X	25	165	65.50	1072	292.4	11.1	3.3	306.8	15.91	1.00	16.91
XI	23	171	55.70	857	233.8	11.3	3.3	248.4	16.15	1.00	17.15
XII	23	165	57.75	966	263.5	11.3	3.3	278.1	16.16	1.00	17.16
XIII	21	169	61.60	753	205.3	9.5	3.3	218.1	18.51	1.00	14.51
Mittel	22	171	63.91	864	243.4	10.7	3.3	257.4	15.19	1.00	16.19

Die Studenten haben, wenn die Durchschnittszahlen in den Tabellen XIII und XIV mit einander verglichen werden, bei gleichem

¹ Die N-Abgabe im Harn ist auffallend klein. Der zu den Versuchen gehörige Harn wurde in der Weise abgegrenzt, dass die Versuchspersonen gleich, bevor sie in den Respirationsapparat eintraten, und gleich nach dem Verlassen desselben aufgefordert wurden, ihre Harnblase zu entleeren. Es ist möglich, dass diese Person am Ende des Versuches ihre Blase nicht vollständig entleerte. Der hierdurch entstandene Fehler kann doch nicht gross gewesen sein, denn die betreffende Person gab an, beim Aufstehen um 6 Uhr urinirt zu haben.

² In diesem Versuche wurde der Harn aus Versehen weggegossen. Weil in allen Soldatenversuchen, mit Ausnahme des ersten, die N-Abgaben im Harn innerhalb ziemlich enger Grenzen schwanken, habe ich hier eine N-Abgabe zu postuliren gewagt, die den Mittelwerth von den Versuchen II bis XIII ausmacht.

Alter, Körperlänge und Gewicht 8 Procent Kohlenstoff weniger und etwa 12 Procent Stickstoff mehr als die Soldaten abgeben.

Tabelle XV. Die C- und N-Abgabe während 24 Stunden bei den Greisen.

Versuchsnummer	Versuchsperson			CO ₂ in der ausgeathmeten Luft; Gramm	C; Gramm			Summa	N; Gramm		
	Alter, Jahre	Körperlänge, Centimeter	Körpergewicht, Kilogramm		in der ausgeathmeten Luft	im Harn berechnet	im Koth angenommen		im Harn bestimmt	im Koth angenommen	Summa
XIV	70	170	60.85	664	181.0	6.9	3.8	191.2	9.87	1.00	10.87
XV	81	160	63.77	651	177.6	6.9	3.3	187.8	9.92	1.00	10.92
XVI	74	165	69.50	640	174.4	7.1	3.8	184.8	10.19	1.00	11.19
XVII	81	162	58.95	525	148.1	5.5	3.8	151.9	7.82	1.00	8.82
XVIII	81	160	59.20	616	168.1	7.0	3.3	178.4	9.94	1.00	10.94
XIX	74	155	75.28	772	210.6	10.8	3.8	224.7	15.87	1.00	16.87
XX	73	156	49.80	617	168.4	7.7	3.3	179.4	11.06	1.00	12.06
XXI	74	170	68.70	710	198.6	7.0	3.8	208.9	10.08	1.00	11.08
XXII	69	175	84.10	761	207.4	7.1	3.8	217.8	10.08	1.00	11.08
XXIII	68	164	68.10	762	207.9	7.7	3.8	218.9	11.07	1.00	12.07
Mittel	75	164	65.82	672	183.2	7.4	3.8	193.9	10.54	1.00	11.54

Die 50 Jahre älteren Greise in der Tab. XV gaben bei geringerer Körperlänge¹ und etwa demselben Gewicht bedeutend weniger Kohlenstoff und Stickstoff ab, als die jungen Männer.

In wie weit diese Differenz bei der Berechnung des Stoff- und Kraftwechsels zum Ausdruck kommt, werden wir aus den folgenden Tabellen ersehen.

¹ Die Körperlänge wurde durch den geraden Abstand zwischen der Fusssohle und dem Scheitel gemessen. Mehrere von den Greisen hatten eine kyphotische Verkrümmung des Rückgrates. Die directe Vergleichung der geraden jungen Männer mit den verkrümmten Greisen in Bezug auf die Körperlänge dürfte kaum zulässig sein.

Ich vertheile zuerst die Elemente der Ausgaben auf die verschiedenen organischen Nährstoffe.

Tabelle XVI. Die N- und C-Abgaben der Studenten auf Eiweiss, Fett, Kohlehydrate und Alkohol vertheilt.

Versuchsnummer	N g	C aus Eiweiss g	C aus Fett g	C aus Kohlehydr. g	C aus Alkohol g	Gesammt- C g
1	18.76	61.9	58.8	126.6	—	247.3
2	13.04	43.0	49.2	133.5	7.5	233.2
3	15.73	48.6	61.5	95.0	4.4	209.5
4	16.98	56.0	29.4	122.7	7.5	215.6
5	19.02	62.8	40.4	133.8	7.5	244.5
6	16.89	54.1	(30.7) ¹	(122.7) ¹	(7.5) ¹	215.0
7	15.86	50.7	5.9	165.4	—	222.0
8	19.76	65.2	—	192.3	—	257.5
9	22.32	73.6	77.0	105.1	—	255.7
10	24.80	81.8	46.5	134.5	7.7	270.5

Tabelle XVII. Die N- und C-Abgabe der Soldaten auf Eiweiss, Fett und Kohlehydrate vertheilt.

Versuchsnummer	N g	C aus Eiweiss g	C aus Fett g	C aus Kohlehydr. g	Gesammt- C g
I	8.62	28.4	21.2	151.9	203.5
II	16.27	53.7	24.8	178.7	257.2
III	19.41	64.0	28.2	134.2	226.4
IV	16.83	55.5	15.7	194.6	265.8
V	17.40	57.4	—	190.7	248.1
VI	17.85	57.3	—	203.1	260.4
VII	13.99	46.2	24.5	158.9	226.9
VIII	17.21	56.8	25.6	174.2	256.6
IX	17.74	58.5	31.0	156.3	245.8
X	16.91	55.8	57.9	193.1	306.8
XI	17.15	56.6	55.2	136.6	248.4
XII	17.16	56.6	65.2	156.3	278.1
XIII	14.51	47.9	59.9	110.3	218.1

¹ Die in diesem Versuche aufgenommene Nahrung wurde nicht bestimmt. Ich habe hier dasselbe Verhältniss zwischen den verschiedenen Nährstoffen wie im Versuche 4 angenommen, weil in den beiden Versuchen die abgegebenen N- und C-Mengen gleich gross sind.

Tabelle XVIII. Die N- und C-Abgabe der Greise auf Eiweiss, Fett, Kohlehydrate und Alkohol vertheilt.

Versuchs- nummer	N g	C aus Eiweiss g	C aus Fett g	C aus Kohlehydr. g	C aus Alkohol g	Gesamt- C g
XIV	10.87	35.9	16.6	134.8	3.9	191.2
XV	10.92	36.0	3.1	144.9	3.8	187.8
XVI	11.19	36.9	38.4	107.5	2.0	184.8
XVII	8.82	29.1	—	119.0	3.8	151.9
XVIII	10.94	36.1	11.5	123.4	7.5	178.4
XIX	16.37	54.0	—	166.8	3.9	224.7
XX	12.06	39.8	—	125.7	3.9	179.4
XXI	11.03	36.4	34.6	125.4	7.5	203.9
XXII	11.08	36.6	32.3	141.1	7.8	217.8
XXIII	12.07	39.8	32.3	132.8	8.0	218.9

Aus den Zahlen in den Tabellen XVI, XVII und XVIII geht der Stoffverbrauch unter Anwendung folgender Coefficienten hervor: $N \times 6.25 = \text{Eiweiss}$, $C \times 1.3 = \text{Fett}$, $C \times 2.3 = \text{Kohlehydrate}$.

Tabelle XIX. Der Stoffwechsel bei den Studenten.

Versuchs- nummer	Zersetztes Eiweiss g	Zersetztes Fett g	Zersetzte Kohlehydr. g	Zersetzter Alkohol g
1	117.8	76.4	290.4	—
2	81.5	64.0	306.2	14.2
3	92.1	80.0	218.0	8.2
4	106.1	38.2	281.5	14.0
5	118.9	52.5	307.1	14.2
6	102.4	39.9	281.5	14.0
7	96.0	7.7	379.4	—
8	123.5	—	441.0	—
9	139.5	100.2	241.0	—
10	155.0	60.5	308.4	14.4
Mittel	113.2	51.9	305.5	7.9

Tabelle XX. Der Stoffwechsel bei den Soldaten.

Versuchs- nummer	Zersetztes Eiweiss g	Zersetztes Fett g	Zersetzte Kohlehydr. g
I	53.9	27.6	348.5
II	101.7	32.2	409.8
III	121.3	35.7	307.8
IV	105.2	20.4	446.3
V	108.7	—	439.5
VI	108.4	—	470.6
VII	87.4	31.9	364.6
VIII	107.6	33.3	399.5
IX	110.9	40.3	358.6
X	105.7	75.3	442.9
XI	107.2	71.8	313.3
XII	107.2	84.8	358.6
XIII	90.7	77.9	253.0
Mittel	101.2	40.8	377.9

Tabelle XXI. Der Stoffwechsel bei den Greisen.

Versuchs- nummer	Zersetztes Eiweiss g	Zersetztes Fett g	Zersetzte Kohlehydr. g	Zersetzter Alkohol g
XIV	67.9	21.6	309.3	7.3
XV	68.3	4.0	332.3	7.2
XVI	69.9	49.9	246.5	3.8
XVII	55.1	—	272.8	7.2
XVIII	68.4	14.9	283.0	14.2
XIX	102.3	—	383.0	7.3
XX	75.4	—	288.5	7.3
XXI	68.9	45.0	287.6	14.1
XXII	69.2	42.0	323.6	14.6
XXIII	75.4	42.0	304.7	14.8
Mittel	72.1	21.9	303.1	9.8

Den Kraftwechsel in Calorien berechne ich unter der Annahme, dass 1^g N 25.98 Cal., 1^g C aus Fett 12.3 Cal., 1^g Kohlehydrate 4.1 Cal. und 1^g Alkohol 7.0 Cal. entspricht. Ich lege die Resultate in folgenden Tabellen vor.

Tabelle XXII. Kraftwechsel und Kraftzufuhr der Studenten in 24 Stunden.

Versuchsnummer	Calorien verbraucht				Calorien in der Nahrung (Brutto)				Verbrauch pro 1 kg Gewicht	Zufuhr pro 1 kg Gewicht
	aus Eiweiss	aus Fett	aus Kohlehydraten und Alkohol	Summa	aus Eiweiss	aus Fett	aus Kohlehydraten und Alkohol	Summa		
1	487	728	1191	2401	601	797	1258	2651	37.6	41.5
2	399	605	1355	2299	433	840	1420	2694	43.2	50.6
3	388	757	951	2091	488	790	995	2273	35.8	42.1
4	441	362	1252	2055	590	769	1918	2672	32.6	42.1
5	494	497	1358	2349	680	806	1425	2911	32.8	40.7
6	426	978	1252	2056	—	—	—	—	32.3	—
7	409	73	1555	2037	628	1202	1637	3462	32.3	54.8
8	513	—	1808	2321	871	1157	1912	3940	37.4	65.1
9	580	947	988	2515	502	971	1089	2513	38.7	38.7
10	644	572	1365	2581	433	917	1432	2752	36.3	38.8
Mittel	472	546	1308	2271	580	917	1381	2874	35.6	46.0

Tabelle XXIII. Kraftwechsel und Kraftzufuhr bei den Soldaten.

Versuchsnummer	Calorien verbraucht				Calorien in der Nahrung				Verbrauch pro 1 kg Gewicht	Zufuhr pro 1 kg Gewicht
	aus Eiweiss	aus Fett	aus Kohlehydraten	Summa	aus Eiweiss	aus Fett	aus Kohlehydraten	Summa		
I	228	261	1429	1918	635	1887	1504	3926	30.1	55.4
II	423	305	1680	2408	713	1600	1769	4082	36.2	61.3
III	504	347	1264	2115	568	968	1328	2859	30.9	41.8
IV	436	193	1830	2459	739	1480	1926	4164	33.4	56.5
V	452	—	1802	2254	743	1760	2067	4570	31.0	63.0
VI	451	—	1929	2380	915	1974	2313	5202	39.1	85.4
VII	363	301	1495	2159	565	968	1575	3128	35.4	51.8
VIII	447	315	1638	2400	732	1745	1724	4201	38.3	67.8
IX	461	381	1470	2312	624	1302	1548	3474	37.9	57.0
X	439	712	1816	2967	733	1947	1911	4591	45.3	70.1
XI	446	679	1285	2410	606	1256	1352	3214	43.4	57.7
XII	446	802	1470	2718	704	1465	1547	3716	47.1	64.3
XIII	378	737	1037	2152	505	944	1092	2541	34.9	41.0
Mittel	421	387	1549	2337	632	1599	1665	3794	37.0	59.4

Tabelle XXIV. Kraftwechsel und Kraftzufuhr bei den Greisen.

Versuchsnummer	Calorien verbraucht				Calorien in der Nahrung				Verbrauch pro 1 kg Gewicht	Zufuhr pro 1 kg Gewicht
	aus Eiweiß	aus Fett	aus Kohlehydr. und Alkohol	Summa	aus Eiweiß	aus Fett	aus Kohlehydr. und Alkohol	Summa		
XIV	282	204	1319	1805	496	1125	1889	3010	29.6	49.8
XV	284	88	1413	1785	562	1146	1484	3192	27.2	50.0
XVI	291	349	1037	1677	466	725	1101	2282	24.1	32.6
XVII	229	—	1169	1398	409	970	1283	2663	23.7	44.8
XVIII	284	141	1260	1685	491	827	1321	2639	28.5	44.6
XIX	425	—	1621	2046	700	1273	1850	3823	27.2	50.8
XX	313	—	1234	1547	569	1166	1496	3231	31.0	63.5
XXI	287	426	1278	1991	484	834	1340	2608	29.0	38.0
XXII	288	397	1429	2114	528	1058	1497	3088	25.1	36.6
XXIII	314	397	1358	2064	505	944	1418	2867	30.3	42.1
Mittel	300	195	1311	1806	516	1007	1418	2940	27.6	45.2

IV. Der Gesamtstoffwechsel bei den Greisen.

Wenn die Mittelwerthe des Kraftwechsels pro Kilo aus den Tabellen XXII, XXIII und XXIV zusammengestellt werden (Tab. XXV), so finden wir, dass die Greise ihre Ausgaben gegenüber den Soldaten und Studenten bedeutend beschränkt haben, und es entsteht die Frage, ob die Verschiedenheit des Stoffwechsels zwischen dem Mannes- und dem Greisenalter, welche aus meinen Versuchen hervorgeht, in der inneren Organisation begründet, oder ob sie etwa von Ungleichheit in den Versuchsbedingungen verursacht war.

Tabelle XXV. Der Gesamtstoffwechsel bei den Soldaten, Studenten und Greisen; Mittelwerthe pro Kilo.

Versuchspersonen	Alter, Jahre	Körperlänge cm	Körpergew. kg	Calorien pro kg.	Ver- hältniss- zahlen
Soldaten . . .	22	171	63.91	37.0	100
Studenten . . .	23	174	63.77	35.6	96
Greise	75	164	65.82	27.6	76

Mit zunehmendem Alter nimmt der Drang zu Bewegungen ab, und die Annahme ist von vornherein sehr wahrscheinlich, dass die Greise während der Versuche sich weniger als die jungen Studenten und Soldaten bewegt hatten.

Wie gross die von meinen Versuchspersonen geleistete äussere Arbeit war, dafür fehlen mir bestimmte Anhaltspunkte. Für die Studenten stehen mir gar keine Angaben über das Maass der Bewegungen zu Gebote. Die Soldaten und Greise gaben auf meine Anfrage an, wie sie sich während des Versuches verhalten hatten. Es lässt sich doch aus diesen Angaben die in jedem Falle geleistete äussere Arbeit nur auf's Ungefähre schätzen.

Die Ungleichmässigkeit in den Körperbewegungen muss aber hauptsächlich während der Tageshälfte der Versuche zum Ausdruck gekommen sein. Dass während der Nachthälfte dagegen die Versuchspersonen im Allgemeinen sich in dieser Beziehung ziemlich gleich waren, dürfte anzunehmen sein. Abends kleideten sie sich aus, legten sich ins Bett und blieben die Nacht über liegen, um am anderen Morgen sich wieder anzukleiden. Wenn wir nun das Verhältniss der während des Tages und in der Nacht abgegebenen Kohlensäure in den drei Versuchsreihen vergleichen, können wir daraus einen Rückschluss für die Beantwortung

der vorliegenden Frage ziehen. Die hierher gehörigen Zahlen sind in folgender Tabelle mitgetheilt.

Tabelle XXVI. Der durchschnittliche Werth der CO_2 -Production während des Tages und der Nacht bei den Studenten, Soldaten und Greisen.

Versuchspersonen	CO_2 , Gramm			Verhältnisszahlen zwischen Tag und Nacht
	Tag	Nacht	Summa	
Studenten . . .	495.6	320.8	816.4	154 : 100
Soldaten . . .	494.0	370.1	864.1	133 : 100
Greise . . .	368.9	302.9	671.8	122 : 100

Die aus der Nachthälfte der Versuche gewonnenen Zahlen kommen einander viel näher, als die Tageszahlen, und wir können wohl hieraus folgern, dass die Greise in der That sich während des Tages ruhiger als die Studenten und Soldaten verhalten hatten.

Es fragt sich indessen, ob der niedrige Kraftwechsel der Greise hiermit vollständig erklärt ist?

Die CO_2 -Abgabe zeigt auch in der Nacht bei den Greisen den kleinsten Werth. Die Soldaten, welche gut und ruhig, im Durchschnitt 8 Stunden, schliefen, producirten aber doch im Mittel 67.2^s CO_2 mehr. Nun ist allerdings die CO_2 -Production nicht nur von der absoluten Grösse des Stoffverbrauches abhängig, sondern zugleich von dem Verhältniss, in welchem die verschiedenen Nährstoffe bei der Verbrennung im Körper theilnehmen. Dieses Verhältniss ist aber für die Soldaten und Greise ziemlich gleich. Es darf mithin nicht bezweifelt werden, dass der Verbrauch bei diesen auch in der Nacht niedriger war, und daraus folgt weiter, dass der Ausfall der Muskelbewegungen nicht als die alleinige Ursache zu der Abnahme aufgefasst werden kann.

Magnus Levy und E. Falck (35) haben unlängst Versuche über den Gaswechsel des Menschen in den verschiedenen Altersstufen veröffentlicht. Die Versuche wurden nach der Zuntz-Geppert'schen Methode ausgeführt. Zwölf Stunden nach der letzten Mahlzeit, in liegender Stellung, bei möglichst weitgehender Muskelentspannung wurden die Versuchspersonen untersucht. Sie fanden, dass der Gaswechsel im Greisenalter sinkt, und dass er, auf Gewichtseinheit bezogen, geringer ist, als bei gleichschweren Individuen in mittleren Jahren.

Ich möchte noch die von mir in einigen Versuchen mit den Greisen gewonnenen Werthe besprechen, um zu zeigen, wie der Verbrauch im Greisenalter unabhängig von den Muskelleistungen sinkt.

In der geschichtlichen Einleitung habe ich das Oberflächengesetz Rubner's erwähnt. Nach diesem wird die Grösse der Wärmebildung bei Hunger und Ruhe im Wesentlichen nur von der durch die Umgebungstemperatur bedingten Abkühlung bestimmt. Zwei Organismen mit gleich grosser Oberfläche müssen, wenn sie derselben Temperatur ausgesetzt sind, auch gleich viel Wärme produciren.

Bei einer 27 jährigen Frau von 49·5^{kg} Gewicht, die während der ganzen Versuchszeit in hysterischem Schläfe lag, fand Tigerstedt (70) eine Wärmeproduction von 24·7 Cal. pro Kilo und 24 Stunden. Er betrachtet diesen Werth als den Minimalbedarf, welchen ein erwachsener Mensch fordert, um in bekleidetem Zustande seine Eigenwärme zu bewahren. Johansson (26, S. 127) berechnet aus Selbstversuchen bei einem Körpergewicht von 73^{kg} die Wärmeproduction bei vollständiger Muskelruhe zu 24·4 Cal. pro Kilo.

In zwei Versuchen (XVI und XVII, Körpergewicht der Versuchspersonen 69·50 und 58·95^{kg}) habe ich Werthe gefunden, die nicht grösser als die genannten sind: 24·1 und 23·7 Cal. Ich vergleiche im Folgenden das Verhältniss der CO₂-Abgabe während des Tages und in der Nacht in diesen Versuchen mit denjenigen von Johansson:

Versuch XVI 121:100

„ XVII 110:100

Johansson (26, S. 109) 110:100 Hunger und gewöhnliche Bettruhe

Johansson (26, S. 109) 105:100 Hunger und vollständige Muskelruhe.

Wenn wir annehmen dürfen, dass die Tagesschwankungen der CO₂-Abgabe hauptsächlich von Muskelbewegungen bedingt sind, müssen die Versuchspersonen XVI und XVII sich mindestens ebenso viel bewegt haben, als Johansson bei gewöhnlicher Bettruhe. Nun berechnet aber Johansson bei gewöhnlicher Bettruhe einen Verbrauch von 26·35 Cal., d. h. 2 Cal. pro Kilo mehr, als bei vollständiger Muskelruhe. Ziehe ich in den Versuchen XVI und XVII 2 Cal. für die äussere Arbeit ab, so bleiben also höchstens 22·1 bzw. 21·7 Cal. für die Wärmeproduction des Körpers bei vollständiger Muskelruhe zurück.

Wenn nun diese beiden alten Personen eine verminderte Wärmeproduction gegenüber dem jungen, hysterischen Weibe Tigerstedt's und dem kräftigen Johansson zeigten, kann dieser Umstand nur so

erklärt werden, dass die Bedingungen für die Wärmeproduction bei alten und jungen Organismen verschieden sind. Die jungen Zellen sind leichter als die alten zur oxydativen Thätigkeit erregbar. Der Greis ist gezwungen, durch dickere Bekleidung, durch verminderte Blutzufuhr zur Haut seine Wärmeabgabe einzuschränken, weil sein Wärmebildungsvermögen darnieder liegt.

Die von mir gefundenen kleinsten Werthe für alte Individuen stehen übrigens nicht einzig da. E. Buys (13) hat die Kost eines 60 Jahre alten, rüstigen Mannes von 70^{kg} Gewicht untersucht. Der Mann verrichtete eine 8- bis 10stündige Arbeit. In 3 Wochen, je 3 Tage lang, wurde die frei gewählte Nahrung untersucht, und ebenso die Menge und der N-Gehalt des Harns. Die Nahrung enthielt pro Tag 42 bis 52^g Eiweiss (6.60 bis 8.29^g N), 30 bis 44^g Fett und 210 bis 296^g Kohlehydrate. Die N-Ausfuhr durch den Harn betrug 5.1 bis 7.9^g N. Der Mann befand sich mithin im N-Gleichgewicht mit einer Nahrung, die dem Körper höchstens eine Kraftzufuhr von 24 Cal. pro Kilo gestattete.

Dass unter Umständen auch junge Organismen mit der Wärmeabgabe sehr haushälterisch wirthschaften müssen, scheint aus Untersuchungen von Klemperer (28, S. 602) hervorzugehen. Er hat bei langdauernder Unterernährung N-Gleichgewicht und sogar Eiweissansatz gefunden bei einer Nahrungszufuhr von nur 13.5 bis 18 Cal. pro Kilo.

von Hoesslin (24, S. 330) hat gewiss nicht ganz Unrecht, wenn er gegen Rubner hervorhebt, „dass die Wärmebildung nicht von dem Wärmeverlust abhängt, sondern umgekehrt der Wärmeverlust von der Wärmebildung, und dass Veränderungen in den äusseren Wärmeabgabeverhältnissen eben durch Veränderungen der im Thierkörper selbst befindlichen Verhältnisse der Hauptsache nach ausgeglichen werden.“

Die Versuchsergebnisse bei den Greisen haben im Durchschnitt genommen einen kleineren Werth für den Kraftwechsel gezeigt, als dies bei den Studenten und Soldaten der Fall war. Wir haben gefunden, dass dieser Umstand theils durch Ausfall der Muskelbewegungen, theils durch verminderte Wärmebildung zu erklären war. Fassen wir nun die einzelnen Versuche in Tab. XXIV ins Auge, so sehen wir, wie der Kraftwechsel sowohl absolut, als auch pro Einheit Körpergewicht berechnet, von Versuch zu Versuch variirt hat. Die Differenzen sind, auf Gewichtseinheit bezogen, allerdings nicht sehr gross, der Unterschied zwischen dem grössten und kleinsten Werth ist nur 7 Cal.

Das Körpergewicht der Versuchspersonen schwankt aber be-

trächtlich, und die Differenzen stellen sich etwas anders, wenn der Kraftverbrauch auf Einheit Oberfläche bezogen wird. Ich habe diese Berechnung in Tab. XXVII (s. nächste Seite) ausgeführt, zugleich aber die Versuche in Gruppen getheilt, zu derselben Gruppe Personen von gleicher Körpergrösse zusammengeführt und in jeder Gruppe die Versuche nach steigendem Kraftwechsel pro Kilo geordnet. Dazu habe ich noch die N-Abgabe, pro Kilo berechnet, in die Tabelle eingetragen.

Die Gruppe *A* in der Tab. XXVII zeigt den kleinsten durchschnittlichen Werth für den Kraftwechsel, wenn die Oberflächengrösse als Grund für die Vergleichung angenommen wird. Diese Gruppe umfasst die ältesten, 81jährigen Versuchspersonen. Die Ursachen zu dem Unterschied zwischen ihnen und den übrigen, im Mittel 10 Jahre jüngeren Greisen, sind ohne Zweifel dieselben, welche den Unterschied zwischen den Greisen im Allgemeinen und den im kräftigen Alter stehenden Individuen bedingt haben.

Zwischen den Gruppen *B*, *C* und *D* ist der Unterschied verschwindend.

Die Differenzen zwischen den zu derselben Gruppe gehörigen Versuchen dürften, insofern sie *A* und *C* betreffen, der Hauptsache nach von dem verschiedenen Maasse der Körperbewegungen hervorgebracht worden sein.

Für die Gruppe *B* und *D* lässt sich nicht finden, dass Ungleichheit in den Muskelbewegungen obgewaltet hätte.

Dagegen war eine bedeutende Verschiedenheit in der aufgenommenen Nahrung vorhanden. Die Versuchsperson XXII in Gruppe *B* nahm mit der Nahrung pro Kilogramm im Ganzen 36.6, im Eiweiss 6.2 Cal. auf, die Versuchsperson XIX aber im Ganzen 50.8, im Eiweiss 9.3 Cal. In Gruppe *D* nahm die Versuchsperson XIV im Ganzen 49.3, im Eiweiss 8.1 Cal. auf; die Versuchsperson XX im Ganzen 63.5, im Eiweiss 11.4 Cal. Dieses verschiedene Nahrungsquantum giebt sich in der Eiweisszersetzung kund, scheint aber, wie wir sehen, nur einen kaum merkbaren Einfluss auf die Grösse der Gesamttzersetzung ausgeübt zu haben, ein Umstand, der seinerseits auch als Ausdruck für die beim alten Organismus verminderte Erregbarkeit der Zellen zur oxydativen Thätigkeit angesehen werden dürfte.

Die aus den Versuchen von Söndén und Tigerstedt mit alten Personen gewonnenen Zahlen (Tab. IX) ergaben als Mittelwerth pro Kilogramm 29.3 Cal. und pro Quadratmeter Oberfläche 936 Cal. Als entsprechende Werthe gehen aus meinen Versuchen 27.6 bezw. 902 Cal. hervor. Unsere Ergebnisse stimmen mithin gut überein. Rubner (57, S. 390) hat auf Grund von Forster's (17) Unter-

Tabelle XXVII. Der Kraftwechsel bei den Greisen pro
Einheit Gewicht und Oberfläche berechnet.

Versuchs- nummer	Alter, Jahre	Körperlänge, Centimeter	Körpergew., Kilogramm	N.-Abgabe pro Kilogr.	Calorien pro Kilogr.	Körperober- fläche, Qu.-Meter	Calorien pro 1 Qu.-Meter	Relations- zahlen	Bemerkungen
A									
XVII	81	162	58.95	0.148	23.7	1.8641	749.9	100	Beinahe die ganze Zeit im Bette gelegen. Am Tage v. 2 bis 4 ^h , in d. Nacht von 8 bis 5 ^h gut geschlafen.
XV	81	160	68.77	0.174	27.2	1.9650	882.9	100	Nur währ. der Nacht gelegen; unruhig geschlafen.
XVIII	81	160	59.20	0.185	28.5	1.8730	900.0	100	Nur währ. der Nacht gelegen, v. 10 bis 4 ^h geschlafen. Tremor senilis.
B									
XXII	69	175	84.10	0.182	25.1	2.3685	892.6	108	Fettleib., kräftig gebaut, nur währ. d. Nacht gel., Schlaf von 10 bis 4 ^h unr.
XIX	74	155	75.23	0.218	27.2	2.1943	932.4	108	Fettl., kräft. gebaut, Schlaf 1 Stde. am Tage, von 10 bis 3 ^h in der Nacht, gut.
C									
XVI	74	165	69.50	0.161	24.1	2.0812	805.8	110	Sehr wenig in Bewegung; v. 5 bis 8 ^h in der Nacht gut geschlafen.
XXI	74	170	68.70	0.161	29.0	2.0652	964.0	110	Schlaf unr. von 9 bis 4 ^h in der Nacht.
XXIII	68	164	68.10	0.177	30.3	2.0530	1005.3	110	Schlaf unr. v. 10 bis 6 ^h in der Nacht.
D									
XIV	70	170	60.85	0.162	29.6	1.9047	947.7	111	Mager; Schlaf am Tage 2 ¹ / ₂ Stdn., in d. Nacht von 8 bis 4 ^h unruhig.
XX	73	156	49.80	0.242	31.0	1.6665	928.3	111	Mager; Schlaf v. 11 ^h 30' bis 6 ^h in der Nacht.

suchungen über die Kost in Pfründneranstalten den Nahrungsbedarf eines alten Mannes zu 1194 Cal. pro Quadratmeter Oberfläche berechnet, was nach obigen Zahlen zu urtheilen entschieden als zu gross betrachtet werden muss.

V. Der Gesamtstoffwechsel bei den Studenten und Soldaten.

Der mittlere Tagesverbrauch der Studenten betrug 2271, der der Soldaten 2357 Cal. Bei einem Durchschnittsgewicht von 63.77 ^{kg} beläuft sich derselbe für jene pro Kilogramm Gewicht auf 35.6 und pro Quadratmeter Oberfläche auf 1156 Cal.; für diese (Mittelgewicht 63.91 ^{kg}) sind die entsprechenden Zahlen 37.0 und 1186 Cal. Der Unterschied wäre mithin verschwindend klein.

Wenn man die in der Tab. XXVI vorgeführten Werthe für die CO₂-Abgabe während des Tages und in der Nacht betrachtet, so erhebt sich doch die Frage, ob die Versuchsbedingungen in den beiden hierher gehörigen Versuchsreihen genau gleich waren. Die Soldaten schieden im Durchschnitt 50% CO₂ mehr als die Studenten aus. Diese Mehrausscheidung kommt aber ausschliesslich von der Nachthälfte des Versuchstages her, und man könnte im ersten Augenblicke geneigt sein, anzunehmen, dass die Ruhe der Studenten während der Nacht intensiver als die der Soldaten gewesen wäre. Eine solche Annahme dürfte doch kaum zutreffend sein, denn die letzteren schliefen, wie schon gesagt ist, im Mittel 8 Stunden. Dagegen ist es sehr wahrscheinlich, dass sich die Studenten während des Tages mehr als die Soldaten bewegt haben. Die Soldaten verhielten sich auch am Tage sehr still, und mehrere von ihnen schliefen sogar einige Stunden. Sie benutzten die Musse in der Respirationskammer, um nach der Arbeit des Dienstes auszuruhen. Jenen aber, die durch keine vorhergehenden Muskelanstrengungen ermüdet waren, erschien wahrscheinlich die erzwungene Ruhe langweilig, und suchten sie sich die Zeit durch Bewegungen zu vertreiben.

Leisteten die Studenten aber eine grössere äussere Arbeit, und war dabei der Kraftaufwand nicht grösser, sondern sogar ein wenig geringer, so würde daraus folgen, dass die körperlich arbeitenden Soldaten auch in der Ruhe einen grösseren Nahrungsbedarf hatten, als die mit geistiger Thätigkeit beschäftigten Studenten.

Es lässt sich doch gegen diese Folgerung eine Einwendung machen. Die Studenten waren 10, die Soldaten aber 13 an der Zahl. Nimmt man die drei Soldaten, bei welchen der grösste Stoffwechsel beobachtet wurde, von der Vergleichung aus, so zeigt, wie aus den Tabellen XXII

und XXIII zu ersehen ist, die Mehrzahl der Versuche mit den Studenten in der That ein wenig höhere Werthe, als die Versuche mit den Soldaten. Man kann meines Erachtens nicht mit Sicherheit behaupten, dass zwischen den beiden Versuchsreihen ein bestimmter Unterschied vorhanden gewesen wäre.

Wenn in den Tabellen XXII und XXIII die Zahlen, welche den Stoffwechsel angeben, durchmustert werden, so finden wir, dass die Ergebnisse der Versuche ziemlich weit von einander abweichen, und dass die Abweichungen vom Mittel besonders für die Soldaten beträchtlich sind. Es ist angezeigt, dieses Verhältniss etwas näher zu untersuchen.

Der Gedanke liegt wieder am nächsten, dass die Differenzen auf Ungleichmässigkeit in der äusseren Arbeit, auf die Muskelbewegungen hinzuführen seien. Wie ich schon aus einander gesetzt habe, übte diese Ungleichmässigkeit, in so weit sie vorlag, hauptsächlich ihre Einwirkung während der Tageshälfte der Versuche aus, war aber während der Nacht grösstentheils ausgeschlossen. Fassen wir die während der Nacht abgegebene CO_2 -Menge in's Auge, so können wir durch sie ersehen, ob die fraglichen Differenzen sich auch in dieser Zeit vorfinden. In den folgenden Tabellen XXVIII und XXIX stelle ich den Calorienverbrauch und die CO_2 -Abgabe während der Nacht zusammen.

Tabelle XXVIII. Calorienverbrauch und CO_2 -Abgabe während der Nacht bei den Studenten.

Versuchsnummer	Körpergewicht	Calorien verbraucht			CO ₂ während der Nacht			Mittlere Temp. der Resp.-Kammer während der Nacht
		im Ganzen	pro Kilogramm Gewicht	Relationszahlen	im Ganzen	pro Kilogramm Gewicht	Relationszahlen	
	kg							
6	63.60	2056	32.3	100	285.3	4.49	100	20.7°
7	63.15	2037	32.3	100	304.8	4.82	107	21.2
4	62.95	2055	32.7	101	313.2	5.00	111	19.7
5	71.57	2349	32.8	102	331.2	4.63	103	20.0
3	58.45	2091	35.8	111	276.8	4.74	106	20.0
10	71.00	2581	36.3	112	383.0	5.40	120	16.5
1	63.85	2401	36.7	113	338.9	5.31	118	20.3
8	62.05	2321	37.4	115	344.1	5.55	124	16.0
9	64.90	2515	38.7	120	341.5	5.20	114	19.2
2	53.20	2299	43.2	134	302.9	5.62	125	18.0

Tabelle XXIX. Calorienverbrauch und CO₂-Abgabe während der Nacht bei den Soldaten.

Versuchs- nummer	Körper- gewicht	Calorien verbraucht			CO ₂ während der Nacht			Mittlere Temp. der Resp.-Kam- mer während der Nacht
		im Ganzen	pro Kilo- gramm Gewicht	Relations- zahlen	im Ganzen	pro Kilo- gramm Gewicht	Relations- zahlen	
	kg				g	g		
I	63.67	1918	30.1	100	301.1	4.73	100	17.4°
III	68.48	2115	30.9	103	336.6	4.92	104	22.3
V	72.45	2254	31.0	103	339.7	4.69	99	17.3
IV	73.63	2459	33.4	111	395.6	5.36	113	16.6
XIII	61.60	2152	34.9	113	308.6	5.01	106	22.3
VII	61.00	2159	35.4	117	326.3	5.35	113	17.4
II	66.60	2408	36.2	120	393.1	5.90	125	18.8
IX	60.96	2312	37.9	126	344.2	5.64	119	16.1
VIII	62.65	2400	38.3	127	381.6	6.07	128	18.2
VI	60.91	2380	39.1	130	376.5	6.18	131	19.2
XI	55.70	2410	43.4	144	345.4	6.20	131	19.2
X	65.5	2967	45.3	150	494.4	7.55	160	17.7
XII	57.75	2718	47.1	156	467.5	8.09	171	20.8

Es geht aus den Tabellen XXVIII und XXIX unverkennbar hervor, dass die CO₂-Abgabe während der Nacht mit dem Gesamtverbrauche wächst. Die Versuche mit den grössten Calorienwerthen zeigen auch die grösste CO₂-Menge während der Nacht.

Das Verhältniss zwischen den verschiedenen Nährstoffen, die an der Verbrennung im Körper theilnahmen, wechselte von Versuch zu Versuch, und die Schwankungen in der CO₂-Production sind vielleicht in erster Linie hieraus abzuleiten. In wie weit dieser Umstand von Bedeutung gewesen ist, wird sich zeigen, wenn wir das genannte Verhältniss etwas näher untersuchen.

Fangen wir mit der Tab. XXVIII an. Hier haben wir den Versuch 6 mit 32.3 Cal. und 4.49^s CO₂ pro Kilogramm, und den Versuch 2 mit 43.2 Cal. und 5.62^s CO₂. Die Calorienwerthe verhalten sich wie 100 : 134, die CO₂-Menge wie 100 : 125. Die beiden Versuche unterscheiden sich in Bezug auf die verbrannten Stoffe, wie aus der Tab. XXII zu ersehen ist, hauptsächlich hinsichtlich des Fettes. Im ersten Falle wurden 18 Proc. Calorien, im zweiten 26 Proc. vom Fett geliefert. Nehmen wir an, dass die Verbrennung während der Nacht in den beiden Versuchen gleich gross gewesen sei, und dass das Fett daran in den genannten Verhältnissen theilgenommen habe,

so sollte weniger CO_2 in dem Versuche 2 abgegeben worden sein. In der That waren aber 25 Proc. CO_2 mehr ausgeschieden.

In der Tab. XXIX haben wir zwischen dem ersten und letzten Versuche im Calorienverbrauch einen Unterschied von 56 Proc., und in der CO_2 -Production einen solchen von 71 Proc., und doch ist im letzteren Falle viel mehr Fett verbrannt. Diese Beispiele dürften zur Genüge zeigen, dass wir aus der Grösse der CO_2 -Production Rückschlüsse auf die Intensität der Verbrennung ziehen können.

Wenn nun der Verbrauch auch während der Nacht ansehnlich gewechselt hat, so kann Ungleichmässigkeit in der äusseren Arbeit nicht als die alleinige Ursache zu den Differenzen betrachtet werden. Es müssen sich auch andere finden lassen.

Wenden wir unsere Aufmerksamkeit nochmals den Tabellen XXVIII und XXIX zu, in welchen die Versuche nach steigendem Verbräuche pro Kilo geordnet sind, so sehen wir, wie die kleinsten Versuchspersonen die letzten Plätze einnehmen, während die grössten sich mehr im Anfang befinden. Es dürfte sich lohnen, diesen Umstand etwas näher zu untersuchen.

Ich lege in der Tab. XXX die Versuche mit den Studenten und Soldaten gemeinschaftlich, in Gruppen geordnet, vor, und nehme zu derselben Gruppe Personen von gleicher Körpergrösse.

Tabelle XXX. Die Versuche mit den Studenten und Soldaten in Gruppen nach der Körpergrösse geordnet; der Kraftwechsel pro Gewichts- und Oberflächeneinheit, die Kraftzufuhr pro Gewichtseinheit angegeben.

Versuchsnummer	Körperlänge cm	Körpergewicht kg	Körperoberfläche qm	Calorien pro Kilogramm Gewicht	Calorien pro Quadratmeter Oberfläche	Kraftzufuhr pro Kilogr. Gewicht
A						
III	178	68.42	2.0590	30.9	1027.2	41.8
V	174	72.45	2.1397	31.0	1053.4	63.0
5	177	71.57	2.1225	32.8	1106.7	40.7
IV	183	73.60	2.1632	33.4	1136.7	56.5
10	175	71.00	2.1112	36.3	1222.0	38.8
Mittel:	177	71.41	2.1191	32.9	1109.2	48.2

Versuchs- nummer	Körper- länge cm	Körper- gewicht kg	Körper- oberfläche qm	Calorien pro Kilo- gramm Gewicht	Calorien pro Quadratmeter Oberfläche	Kraftzufuhr pro Kilogr. Gewicht
<i>B</i>						
I	178	63.67	1.9632	30.1	977.5	55.4
7	171	63.15	1.9525	32.3	1043.3	54.8
6	?	63.60	1.9617	32.3	1048.1	42.1?
4	?	62.95	1.9485	32.6	1054.7	42.1
XIII	169	61.60	1.9206	34.9	1120.5	41.0
VII	167	61.00	1.9080	35.4	1131.5	51.3
II	171	66.60	2.0230	36.2	1190.2	61.3
1	181	63.85	1.9667	36.7	1221.0	41.5
8	174	62.05	1.9300	37.4	1202.6	65.1
IX	167	60.96	1.9071	37.9	1212.3	57.0
VIII	166	62.65	1.9423	38.3	1235.6	67.8
9	171	64.90	1.9880	38.7	1270.0	38.7
VI	171	60.91	1.9060	39.1	1249.0	85.4
X	165	65.50	2.0006	45.3	1483.0	70.1
Mittel:	171	63.10	1.9513	35.8	1174.2	55.2
<i>C</i>						
3	172	58.40	1.8532	35.8	1123.0	42.1
2	169	53.20	1.7417	43.2	1320.0	50.6
XI	171	55.70	1.7950	43.4	1342.6	57.7
XII	165	57.75	1.8396	47.1	1477.5	64.3
Mittel:	169	56.28	1.8074	42.4	1315.8	53.7

Auf Einheit Oberfläche bezogen ist der durchschnittliche Kraftwechsel für die Gruppen *A* und *B* annähernd gleich, für die Gruppe *C* aber nicht unerheblich grösser, als für die beiden übrigen. Wodurch ist nun das abweichende Verhalten der Gruppe *C* bedingt? Vielleicht lässt sich irgend eine Ungleichmässigkeit in den Versuchsbedingungen zwischen den Gruppen *A*, *B* und *C* nachweisen.

Ich vergleiche erstens die Tagesschwankungen der CO₂-Production.

	Durchschnittliche CO ₂ -Production in Gramm		
	Tag	Nacht	Relat. zwischen Tag u. Nacht
<i>A</i>	510.5	357.2	143 : 100
<i>B</i>	490.3	345.7	141 : 100
<i>C</i>	515.1	348.4	148 : 100

Das Verhältniss zwischen Tag und Nacht ist beinahe dasselbe und zeigt, dass eine grössere Verschiedenheit in den Muskelbewegungen nicht angenommen werden kann. Die durchschnittliche Menge der aufgenommenen Nahrung schwankt auch wenig, und wie wir später sehen werden, stand die mittlere Eiweisszersetzung für alle drei Gruppen in gleicher Höhe. Die Differenz lässt sich schwerlich durch ungleiche Versuchsbedingungen erklären.

Es ist aber in anderer Beziehung eine Ungleichmässigkeit zwischen der Gruppe *C* und den beiden übrigen vorhanden. Die Versuchsindividuen in *B* waren im Durchschnitt 8^{ks} leichter und 6^{cm} kürzer als diejenigen in *A*; die in *C* zusammengeführten Personen etwa 7^{ks} leichter, aber nur 2^{cm} kürzer als die *B*-Männer. Das Verhältniss zwischen Länge und Gewicht hatte sich für *C* nicht unwesentlich geändert. In Folge dessen sollte die Constante der Mech'schen Formel bei der Berechnung der Körperoberfläche für *C* eine andere als für *A* und *B* gewesen sein. Die Berechnung ist aber für alle mit derselben Constante (12.31) gemacht worden, und hierdurch hat meines Erachtens die Oberfläche für die *C*-Gruppe einen verhältnissmässig zu kleinen Werth bekommen. Ist dies richtig, dann erklärt sich wenigstens theilweise die Abweichung, welche meine kleinsten Versuchspersonen von den grösseren zeigen.

Wenn die Versuche von früheren Forschern, wie sie in Tab. XI zusammengestellt sind, mit den meinigen verglichen werden, so findet man, dass die Gruppen *C* und *D* daselbst mit meinen Gruppen *A* und *B* sehr genau übereinstimmen. Die Gruppe *E* in Tab. XI und meine Gruppe *C*, welche beide Personen von 53 bis 58^{ks} Gewicht umfassen, weichen aber bedeutend von einander ab. Würde man sie vereinigen, dann ergäbe sich für den Umsatz dieser kleinsten Personen ein Mittelwerth (1212 Cal. pro Quadratmeter Oberfläche), welcher ziemlich gut mit dem Werthe für die anderen erwähnten Gruppen stimmt. Alles gerechnet, dürften die Versuche mit erwachsenen Männern in kräftigen Jahren keinen bestimmten Anlass zu Zweifeln an dem Oberflächengesetz Rubner's geben.

Mit der Gruppeneintheilung ist, wie die Tab. XXX uns lehrt, nicht viel gewonnen, um die Schwankungen im Kraftwechsel bei den Versuchen zu erklären. Ich habe bei der Besprechung der Versuche von früheren Forschern gezeigt, dass eine Ursache zu ungleichem Kraftwechsel in der Nahrung, bezw. in der Natur der Nahrung gesucht werden müsste. Die Nahrungsverhältnisse waren auch in meinen Versuchen verschiedenartig, und es bleibt mir übrig, ihren Einfluss auf die Versuchsergebnisse zu untersuchen. Doch ehe ich zu dieser Unter-

suchung gehe, will ich einen Rückblick auf die geschichtliche Entwicklung der Frage werfen.

Dass unter sonst gleichbleibenden Bedingungen durch die Nahrungsaufnahme im Allgemeinen eine beträchtliche Erhöhung des Stoffwechsels hervorgebracht wird, haben, wie Voit (73, S. 103) hervorhebt, schon die ältesten Versuche ergeben. Eine nähere Einsicht in dieses Verhältniss ist uns doch erst durch die von Pettenkofer und Voit (40. 42. 43. 44. 45) ausgeführten Untersuchungen an ihrem Hunde zu Theil geworden. Ich habe die Gesamtzersetzung in Calorien bei den Versuchen von Pettenkofer und Voit aus den im Harn und Koth¹ ausgeschiedenen N- und C-Mengen berechnet und bin dabei folgendermaassen verfahren. Aller abgegebene Stickstoff ist als vom Stoffwechsel herrührend angenommen. Zu dem Stickstoff ist Kohlenstoff nach der Relation $N:C = 1:3.3$ gerechnet. Blieb ein Rest Kohlenstoff, so wurde dieser als aus zersetztem Fett abstammend angesehen, wenn keine Nahrung oder nur Eiweiss, oder Eiweiss und Fett gegeben worden war. Wenn aber Kohlehydrate eingeführt waren, so habe ich den Kohlenstoffgehalt derselben von dem Kohlenstoffrest abgezogen und, wenn dann noch ein Ueberschuss vorhanden war, dieser endlich auf Fett bezogen. Bei der Berechnung der Nahrungszufuhr ist 1^g Fleisch = 0.883 Cal., 1^g Fett = 9.3 Cal. und 1^g Kohlehydrate = 4.1 Cal. angenommen. Die Ergebnisse meiner Berechnungen sind in den Tabellen XXXI, XXXII und XXXIII zusammengestellt.

Beim ersten Blicke auf diese Tabellen springen die grossen Differenzen des Gesamtstoffwechsels in's Auge. Wir finden, dass der Hund, wenn er hungert oder mit einer knapp zugemessenen Kost auskommen muss, seine Ausgaben beschränkt, dass er aber, wenn er reichlich geniesst, auch freigebig ist. Zufuhr und Verbrauch sind mit einander so eng und regelmässig verknüpft, dass an einem causalen Zusammenhang nicht gezweifelt werden kann.

Um die einschlägigen Verhältnisse leichter übersehen zu können, habe ich in den Figg. 1 und 2 den Verbrauch graphisch als Function der Zufuhr dargestellt. Die Abscissen bezeichnen die Calorienwerthe der Nahrung, die Ordinaten diejenigen des Verbrauches. Die Versuchsergebnisse von 1861 sind einzeln für sich vorgeführt, weil sie im Allgemeinen grösser als die übrigen ausgefallen sind.

¹ Für die Versuche, wo reichliche Mengen von Fett und Kohlehydraten gefüttert worden und demzufolge der C-Gehalt des Kothes gross war, habe ich nicht das ganze C-Quantum des Kothes in die Rechnung aufgenommen, sondern nur eine dem N-Gehalt desselben entsprechende Quantität nach der Relation $N:C = 1:3.3$.

In der Fig. 1 imponirt uns zuerst der mächtige Einfluss der Fleischfütterung. Sie ist der Fütterung mit Fett und Kohlehydraten weit überlegen. 1000^g Fleisch und 100^g Fett repräsentiren denselben Verbrennungswerth von 900 Cal. Während aber 100^g Fett den Gesamtver-

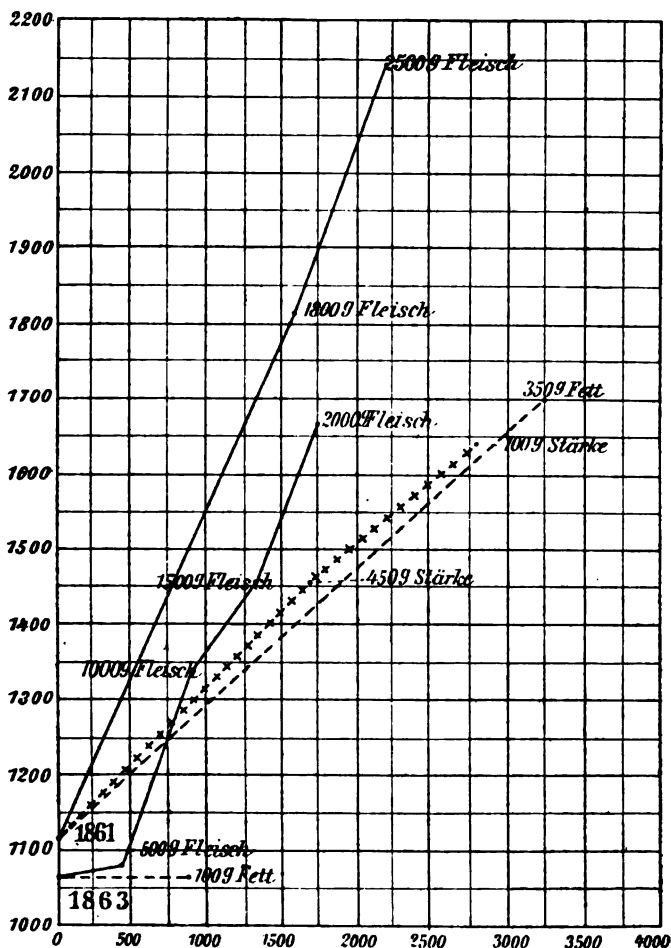


Fig. 1.

brauch nicht über den Hungerwerth erhöhen, erregen 1000^g Fleisch eine Steigerung von 200 bis 300 Calorien. 450^g Stärke und 1800^g Fleisch enthalten beinahe gleich grosse Calorienmengen. Bei Fütterung mit 450^g Stärke bleibt doch der Umsatz mit 400 Cal. im Rückstande.

Aus der Fig. 1 scheint weiter hervorzugehen, dass die zugeführte Nahrung eine gewisse Höhe erreichen muss, ehe die Wirkung auf den

Tabelle XXXI. Versuche von Pettenkofer und Voit. 1861.

Nummer	Datum	Körpergew. d. Hundes	Ausgesch. N		Ausgesch. C	Cal. verbr.	Nahrung	Bemerkungen
			kg	g	g	im Ganzen	pro Kilogr.	
							Gewicht	Gramm
							Calorien	
1	19/II.	33.26	59.7	218.9	1820	54.7	1800 Fleisch	15/II. bis 19/II. 1800 ^s Fleisch.
2	24/II.	32.80	15.3	178.2	1910	58.0	{ 400 Fleisch, 200 Fett }	20/II. bis 24/II. 400 ^s Fleisch und 200 ^s Fett.
3	27/II.	32.88	14.9	162.1	1515	46.7	{ 400 Fleisch, 250 Stärke, 10.2 Fett }	{ 25/II bis 27/II. 400 ^s Fleisch, 250 ^s Stärke und 10.2 ^s Fett.
4	2/III.	32.60	13.4	159.6	1513	46.4	{ 400 Fleisch, 250 Traubenzucker }	{ 28/II. bis 5/III. 400 ^s Fleisch und 250 ^s Trauben- zucker.
5	8/III.	32.98	11.9	172.0	1570	47.6	800 Brod	6/III. bis 9/III. 800 ^s Brod.
6	28/III.	32.42	7.2	157.3	1456	44.9	{ 450 Stärke, 16.9 Fett }	{ 10/III. bis 26/III. Gemischtes Futter, 27/III. bis 28/III. 450 ^s Stärke und 16 ^s Fett.
7	30/III.	32.62	20.7	197.9	1788	54.8	{ 800 Fleisch, 450 Stärke, 10 Fett }	{ 29/III. bis 30/III. 800 ^s Fleisch, 450 ^s Stärke und 10 ^s Fett.
8	1/IV.	33.60	49.9	262.4	2225	66.2	{ 1800 Fleisch, 450 Stärke, 5.2 Fett }	{ 31/III. bis 1/IV. 1800 ^s Fleisch, 450 ^s Stärke und 5.2 ^s Fett.
9	3/IV.	33.73	85.4	271.1	2185	63.4	2500 Fleisch	2/IV. bis 3/IV. 2500 ^s Fleisch.
10	5/IV.	32.63	11.6	108.7	1156	35.4	—	2. Hungertag.
11	8/IV.	31.45	5.7	100.0	1141	36.2	—	5. Hungertag.
12	11/IV.	30.88	4.7	98.2	1073	35.8	—	8. Hungertag.
13	19/IV.	32.19	7.7	147.7	1701	52.5	350 Fett	{ Bis zum 17/IV. sehr reichlich gemischtes Futter, am 18/IV. und 19/IV. 350 ^s Fett.
14	21/IV.	32.59	21.6	177.5	1865	57.2	{ 800 Fleisch, 350 Fett }	20/IV. bis 21/IV. 800 ^s Fleisch und 350 ^s Fett.
15	4/V.	34.81	6.4	195.4	1822	54.0	{ 700 Stärke, 14.5 Fett }	{ Gemischtes Futter bis zum 2/IV., am 3/IV. u. 4/IV. 700 ^s Stärke.
16	5/VI.	34.20	7.5	157.4	1455	42.5	{ 700 Stärke, 17.0 Fett }	Am 3/VI. und 4/VI. Hunger.

Tabelle XXXII. Versuche von Pettenkofer und Voit. 1862.

Nummer	Datum	Körpergew. des Hundes; kg	Ausgeschied. N g	Ausgeschied. C g	Cal. verbr.		Nahrung	Calorien	Bemerkungen
					im Ganzen	pro kg Gewicht			
1	4/III.	88.02	52.40	190.5	1579	47.8	1500 Fleisch	1325	14. Nahrungstag mit 1500 ^o Fleisch. 6. Hungertag.
2	10/III.	80.96	5.95	104.1	1188	88.3	—	—	
3	14/III.	29.87	5.28	82.8	942	91.2	—	—	10. Hungertag.
4	21/III.	80.90	49.20	175.7	1495	48.1	1500 Fleisch	1325	15/III. bis 24/III. 1500 ^o Fleisch.
5	1/IV. bis 8/IV. Mittel v. 2 Beobacht.	29.37	4.94	92.7	1068	86.2	100 Fett	900	25/III. bis 3/IV. 100 ^o Fett.
6	7/IV.	80.06	49.50	156.0	1230	41.0	1500 Fleisch	1325	4/IV. bis 16/IV. 1500 ^o Fleisch.
7	14/IV. bis 16/IV. Mittel v. 2 Beobacht.	31.01	51.40	166.6	1311	42.3	„	1325	17/IV. bis 7/V. 500 ^o Fleisch und 200 ^o Stärke.
8	22/IV. bis 5/V. Mittel v. 5 Beobacht.	80.15	19.80	180.0	1182	37.5	{ 500 Fleisch, 200 Stärke, 5.6 Fett }	1200	
9	8/V. bis 17/V. Mittel v. 4 Beobacht.	29.91	17.7	129.9	1139	88.1	{ 500 Fleisch, 200 Zucker }	1150	8/V. bis 20/V. 500 ^o Fleisch u. 200 ^o Zucker.
10	21/V. bis 30/V. Mittel v. 3 Beobacht.	29.72	17.9	134.9	1191	40.0	{ 500 Fleisch, 200 Stärke, 6.7 Fett }	1200	21/V. bis 2/VI. 500 ^o Fleisch und 200 ^o Stärke.
11	3/VI. bis 6/VI. Mittel v. 2 Beobacht.	29.57	17.6	131.3	1358	46.0	{ 500 Fleisch, 200 Fett }	2800	
12	27/VII. bis 30/VII. Mittel v. 2 Beobacht.	34.85	18.0	147.8	1555	45.3	{ 500 Fleisch, 200 Fett }	2300	3/VI. bis 2/VIII. 500 ^o Fleisch und 200 ^o Fett.
13	3/VIII.	35.29	49.1	211.2	1882	53.3	1500 Fleisch	1325	
14	6/VIII.	35.87	51.8	188.9	1507	42.1	„	1325	3/VIII. bis 8/VIII. 1500 ^o Fleisch
15	8/VIII.	36.11	52.8	181.1	1458	40.5	„	1325	

Nummer	Datum	Körpergew. d. Hund, kg	Ausgesch. N,	Ausgesch. G,	Cal. verbr.		Nahrung		Bemerkungen
					in Ganzen	pro kg	Gramm	Calorien	
1	20/II. bis 4/III. Mittel v. 4 Beobacht.	33.35	51.0	184.5	1520	45.3	1500 Fleisch	1325	16/II. bis 8/III. 1500 ^s Fleisch.
2	9/III. bis 19/III. Mittel v. 2 Beobacht.	33.41	49.6	180.6	1497	44.8	1500 Fleisch, 80 Fett	1600	9/III. bis 16/III. 1500 ^s Fleisch u. 30 ^s Fett.
3	17/III.	33.42	51.0	203.6	1760	52.7	1500 Fleisch 60 Fett	1850	17/III. bis 19/III. 1500 ^s Fleisch und 60 ^s Fett.
4	20/III. bis 24/III. Mittel v. 2 Beobacht.	33.91	47.6	182.4	1549	45.7	1500 Fleisch, 100 Fett	2200	20/III. bis 26/III. 1500 ^s Fleisch und 100 ^s Fett.
5	27/III. bis 30/III. Mittel v. 2 Beobacht.	34.76	49.5	186.4	1571	45.2	1500 Fleisch, 150 Fett	2650	27/III. bis 30/III. 1500 ^s Fleisch und 150 ^s Fett.
6	1/IV.	35.22	50.0	184.7	1542	43.7	1500 Fleisch	1325	1/IV. bis 18/IV. 1500 ^s Fleisch.
7	7/IV. bis 10/IV. Mittel v. 2 Beobacht.	35.20	50.3	176.5	1437	40.8	"	1325	
8	14/IV.	35.06	39.2	160.0	1396	39.9	1000 Fleisch	900	14/IV. bis 19/IV. 1000 ^s Fleisch.
9	17/IV.	34.70	36.7	149.8	1307	37.4	"	900	
10	20/IV. bis 22/IV. Mittel v. 2 Beobacht.	34.10	22.6	120.9	1158	34.0	500 Fleisch	450	20/IV. bis 31/V. 500 ^s Fleisch, mit Ausnahme vom 12/V., wo dazu 100 ^s Fett gegeben wurden.
11	12/V.	31.83	16.7	112.0	1112	35.5	500 Fleisch, 100 Fett	1350	
12	22/V. bis 29/V. Mittel v. 2 Beobacht.	30.30	19.2	103.6	998	32.8	500 Fleisch	450	
13	1/VI.	29.95	41.6	143.4	1050	35.1	1500 Fleisch	1325	1/VI. bis 20/VI. 1500 ^s Fleisch, mit Ausnahme vom 18/VI., wo dazu 100 ^s Fett gegeben wurden.
14	8/VI. bis 12/VI. Mittel v. 2 Beobacht.	31.22	51.6	168.8	1327	42.5	"	1325	
15	18/VI.	31.54	49.3	174.4	1426	45.2	1500 Fleisch, 100 Fett	2200	21/VI. bis 30/VI. 2000 ^s Fleisch.
16	21/VI.	31.31	67.3	203.7	1608	51.4	2000 Fleisch	1775	
17	26/VI.	31.62	71.7	219.2	1727	54.6	"	1775	
18	3/VII. bis 6/VII.	31.25	54.4	191.4	1425	45.6	1500 Fleisch	1325	1/VII. bis 7/VII. 1500 ^s Fleisch.
19	12/VII.	31.88	50.1	220.0	1822	57.1	1500 Fleisch, 200 ^s Stärke, 5.2 Fett	2100	8/VII. bis 12/VII. 1500 ^s Fleisch und 200 ^s Stärke.

Der höchste Umsatz tritt ein, wenn grosse Mengen Fleisch und Kohlehydrate gegeben werden, grösser, als bei entsprechenden Mengen von Fleisch und Fett. Es deutet dies darauf hin, dass die Kohlehydrate eine grössere Einwirkung als das Fett ausüben. Dieser Umstand wird bestätigt durch die Versuchsreihen der Fig. 1, in denen nur Kohlehydrate oder nur Fett gefüttert worden sind.

Pflüger (47) folgert aus den Versuchen von Pettenkofer und Voit, dass nur Eiweiss, aber weder Fett, noch Kohlehydrate den Stoffwechsel über den Bedarf zu steigern vermag. Er versteht unter Nahrungsbedürfniss die kleinste Menge magersten Fleisches, welche Stickstoffgleichgewicht beim Hunde erzeugt, ohne dass dabei Fett oder Kohlehydrate zur Zersetzung gelangen (48, S. 46), und berechnet das Bedürfniss des Hundes von Pettenkofer und Voit zu 2.13^s N pro Kilogramm (49, S. 243), was etwa 2000^s Fleisch = 1800 Cal. ausmacht.

Nun behauptet Pflüger (48, S. 45 und 46) weiter, dass die Berechnung des Kraftwechsels aus der in den Lungen ausgeschiedenen CO_2 -Menge bei überschüssiger Kohlehydratfütterung nicht stichhaltig ist, weil es sich bei der Bildung von Fett aus Kohlehydraten um eine acalorische Abspaltung von CO_2 handeln muss. Um den Verbrauch bei Versuchen dieser Art zu erfahren, wendet er daher eine andere Berechnungsart an, kommt aber doch zu Werthen, die von den meinigen nicht bedeutend abweichen. So berechnet er (49) für den Versuch vom 1./IV. 1861 (Nr. 8 Tab. XXXI) einen Verbrauch von 78.99^s N = $78.99 \times 25.98 = 2052$ Cal., für den Versuch vom 4./V. 1861 (Nr. 15 Tab. XXXI) 71.86^s N = 1867 Cal., für den Versuch vom 5./VI. 1861 (Nr. 16 Tab. XXXI) 52.24^s N = 1357 Cal., und für den Versuch vom 12./VII. 1863 (Nr. 19 Tab. XXXIII) 70.86^s N = 1841 Cal.

Wenn man von dem Verbrauche im Hunger ausgeht, scheint mir aus den Versuchen von Pettenkofer und Voit unzweifelhaft hervorzugehen, dass alle drei Gruppen von organischen Nährstoffen die Intensität des Stoffwechsels erhöhen können, dass aber Eiweiss in dieser Beziehung am kräftigsten einwirkt.

Die soeben genannten Versuche lehren uns ferner ein Sachverhältniss erkennen, welches ein noch tieferes Eindringen in die fraglichen Stoffwechselercheinungen zulässt. Wenden wir zuerst unsere Aufmerksamkeit den Versuchsreihen von 1863 zu.

Hier sehen wir am 27. und 30. März (Nr. 5 Tab. XXXIII) einen Verbrauch von 1571 Cal. bei einer Nahrung von 1500^s Fleisch und 150^s Fett. Am 1. April werden 150^s Fett von dem Futter weggelassen. Der Verbrauch sinkt an diesem Tage nur unbedeutend, aber nachdem diese minderwerthige Nahrung etwa eine Woche gegeben worden war, ist er mit 130 Cal. gesunken auf 1437. Am 14. April wird die Nahrungsmenge wieder vermindert auf 1000^s Fleisch. Der Verbrauch hält sich am ersten Tage bei dieser Fütterung beinahe in der letztgenannten Höhe,

ist aber drei Tage später bis zu 1307 Cal. gefallen. Nun folgt eine Reihe mit 500^s Fleisch. Dieselbe beginnt mit einem Verbrache von 1158 Cal., endet aber nach einem Monat mit dem kleinen Werthe von 993 Cal. Am 1. Juni wird die Nahrung wieder auf 1500^s Fleisch erhöht. Der Verbrauch erhöht sich am ersten Tage kaum merkbar und hat am 8. bis 12. Juni den früheren Werth von 1500^s Fleisch noch nicht erreicht. Es ist auffallend, dass der Verbrauch bei 1500^s Feischzufuhr am 1. April gleich zu Anfang der Reihe 1542 Cal. beträgt, diesmal aber 500 Cal. kleiner ist. Am 21. Juni wird die Nahrung von 1500^s auf 2000^s Fleisch vermehrt. An diesem Tage ist der Verbrauch 1608 Cal., fünf Tage später bei derselben Nahrung 1727 Cal.

In den Reihen von 1862 haben wir am 4. März (Nr. 1 Tab. XXXII), nachdem 1500^s Fleisch 14 Tage gefüttert sind, einen Verbrauch von 1579 Cal. Am 6. Hungertage, den 10. März, ist er 1188 und am 10. Hungertage 942 Cal. Nun werden abermals 1500^s Fleisch gegeben, und am 7. Tage bei dieser Fütterung hat der Verbrauch den Werth von 1495 Cal. erreicht. Eine 10tägige Periode mit 100^s Fett und dem niedrigen Verbrache von 1063 Cal. folgt. Noch einmal werden 1500^s Fleisch gegeben, am 3. Tage ist der Verbrauch 1230 Cal., hebt sich aber nach einer Woche bis zu 1311 Cal. Der Hund bekommt nun eine kohlehydratreiche Nahrung, die nahezu denselben Wärmewerth wie 1500^s Fleisch, aber nur 500^s Fleisch enthält. Mit dieser Nahrung hält sich das Thier anderthalb Monate mit den Einnahmen und Ausgaben im Gleichgewicht. Die Kohlehydrate werden nun mit 200^s Fett vertauscht und dadurch der Wärmewerth des Futters bis zu 2300 Cal. gehoben. Diese reichliche Nahrungszufuhr wird einen Monat fortgesetzt. Der Verbrauch zeigt an den ersten Tagen einen Werth von 1358, an den letzten 1555 Cal. Nun wird wieder die Kraftzufuhr vermindert durch Weglassen des Fettes, die Eiweisszufuhr aber verstärkt von 500 zu 1500^s Fleisch. Diese reichlichere Eiweisszufuhr in dem vorher gemästeten Organismus steigert am ersten Tage den Verbrauch zu 1882 Cal., vermag ihn aber nicht lange in dieser Höhe zu erhalten, denn schon drei Tage später ist er auf denselben Werth zurückgegangen, welcher sich immer einstellt, wenn 1500^s Fleisch einige Tage gefüttert worden sind.

In den Reihen von 1861 sind die Beobachtungen im Allgemeinen nicht so angestellt, dass die Erscheinungen, auf welche ich für die Reihen von 1862 und 1863 hingewiesen habe, hervorgehen könnten. Doch vermissen wir sie auch hier nicht. Am 4. Mai (Nr. 15 Tab. XXXI) sehen wir bei 700^s Stärke einen Verbrauch von 1822 Cal., am 5. Juni bei demselben Futter nur 1455 Cal. Dem erstgenannten Versuche ging eine Periode mit reichlich zugemessenem, gemischtem Futter voran, dem zweiten aber eine zweitägige Hungerperiode.

Die hierher gehörige Hungerreihe zeigt ein von den übrigen etwas abweichendes Verhalten. Es ist auffallend, dass der Verbrauch schon am zweiten Hungertage so tief gesunken ist. In der Hungerreihe von 1862 zeigt er noch am 6. Tage einen höheren Werth.

Am 1. April 1863 verbrauchte der Hund 1542 Cal. bei einer Zufuhr

von 1500^g Fleisch, am 1. Juni verbrauchte er nur 1050 Cal. bei demselben Futter. Was hatte sich inzwischen bei dem Thiere ereignet? Es war ihm eine Nahrung zugemessen, die dem Verbräuche nicht entsprach, und es hatte an Gewicht 5·47^{kg} verloren. Sein Organismus war an Fett und, wie leicht zu ersehen ist, auch an Eiweiss verarmt.

In den Versuchen vom Jahre 1862 begegnen wir dem Spiegelbilde zu dieser Erscheinung. Am 7. April bekam das Thier 1500^g Fleisch und verbrauchte 1230 Cal. Am 3. August bestand das Futter wieder aus 1500^g Fleisch, der Verbrauch aber in 1882 Cal. oder, wenn wir annehmen, dass dieser grosse Verbrauch nicht ausschliesslich durch die Ernährung hervorgebracht worden sei, doch am 6. August noch in einer Höhe von 1507 Cal. Der Hund war am 7. April durch die vorige N-freie und minderwerthige Nahrung an Eiweiss und Fett verarmt, sein Gewicht betrug nur 29·97^{kg}. Nach dieser Zeit wurde er zuerst mit einem dem Verbräuche entsprechenden, dann mit einem sehr reichlichen Futter ernährt, und sein Gewicht stieg am 3. August auf 35·81^{kg}. Im Anfang April war er arm und zum Sparen gewöhnt, im Anfang August reich und konnte ohne Gefahr verschwenden.

Als allgemeine Regel geht also aus den angeführten Versuchen unzweideutig hervor, dass nicht nur die während des Versuchstages aufgenommene Nahrung, sondern auch und noch mehr der durch die vorige Fütterung geschaffene Ernährungszustand Einfluss auf den Verbrauch des Organismus ausübt, oder mit anderen Worten: Der Organismus strebt die Ausgaben mit den Einnahmen ins Gleichgewicht zu bringen, das Ziel dieses Strebens wird aber nur allmählich erreicht und ist nur innerhalb gewisser Grenzen zu erreichen möglich. Sinkt die zugeführte Nahrung unter eine gewisse Grenze, so passt sich der Verbrauch ihr nicht mehr an, sondern bleibt grösser; übersteigt sie die obere Grenze, so wird nicht alles Angebotene verbraucht, sondern ein Theil im Körper als Reservematerial für kommende Zeiten aufgestapelt.

Die Grenzwerte gehen aus den Versuchen von Pettenkofer und Voit nicht deutlich hervor; so viel lässt sich aber ersehen, dass die obere Grenze für Eiweiss höher, als für Fett und Kohlehydrate liegt, und dass selbst grosse Mengen Eiweiss unter Umständen einen Gesamtverbrauch erzeugen, welcher höher ist, als die zugeführte Nahrungsmenge (vgl. Voit, 73, S. 117).

Zuntz und v. Mering (77) wollen durch ihre Untersuchungen erwiesen haben, dass die Steigerung des Kraftwechsels bei Nahrungszufuhr nur durch die Verdauungsarbeit hervorgerufen wird. Rubner (57, S. 251) bestreitet, dass eine Wechselwirkung zwischen Zelle und Nährstoff besteht. Er sagt, „dass bei einmal gegebenem Innervations-

zustande der Zellen auch nur die diesem Zustande entsprechende Wärmemenge producirt werde, gleichgültig, welcher Nahrungsstoff es war, welcher die Zellen umgab.“

Rubner lehrt, wie ich schon mehrfach erwähnt habe, dass im Hungerzustande im Wesentlichen nur die durch die Oberflächengrösse bedingte Abkühlung die Wärmebildung des Körpers bestimmt. Wird einem Thiere Nahrung gegeben, so erregt diese in den „Drüsen“ allerdings eine grössere Wärmeproduction, als beim Hunger vorhanden ist. Diese grössere Wärmeproduction kommt, wenn die Nahrungsmenge dem Bedürfniss im Hunger gleichwerthig ist, nicht zum Vorschein, weil die in den Muskeln durch die Abkühlung veranlasste Thätigkeit vermindert oder ausgeschaltet wird. Ist aber die Muskelthätigkeit ganz ausgeschlossen, was immer bei überschüssiger Kost vorkommt, dann wird die Gesamtwärmeproduction durch die Drüsenarbeit vermehrt. Rubner ist demnach mit der Ansicht von Zuntz und v. Mering einverstanden.

Nun hat Rubner doch bei Versuchen an Thieren gefunden, dass abundante Kost die Wärmeproduction allmählich steigert. Als die Zufuhr den Bedarf mit 55 Proc. überstieg, fand er die Wärmeproduction schon am ersten Fütterungstage gegenüber den Hungertagen bei Eiweissfütterung um 19.7 Proc., bei Fett um 6.8 Proc. und bei Kohlehydratfütterung um 10.2 Proc. vermehrt (58). Und an anderer Stelle sagt er (61, S. 48): „Eine sehr wichtige Rolle spielt die Eigenthümlichkeit des Organismus, bei überschüssiger Kost sich mit dieser unter täglich steigender Wärmeproduction in's Gleichgewicht zu setzen.“ Das heisst mit anderen Worten: wenn die Nahrungsmenge eine bestimmte Grenze übersteigt, bildet sich im Organismus eine allmählich bis zum Gleichgewicht wachsende Wärmeproduction, und es ist dies genau dieselbe Folgerung, die ich aus den Versuchen von Pettenkofer und Voit gezogen habe. Wie aber eine allmähliche Anpassung der Ausgaben an die Einnahmen gedacht werden kann, ohne Wechselwirkung zwischen Zelle und Nährstoff, ist mir unbegreiflich.

Magnus Levy (34) hat Untersuchungen über den Einfluss der Nahrungsaufnahme auf den respiratorischen Gaswechsel bei Hund und Mensch angestellt. Er fand bei der Bestimmung des Nüchternwerthes seines Hundes, als er das Thier in zeitlich von einander getrennten Perioden untersuchte, ein sehr ungleiches Verhältniss zwischen der O_2 -Aufnahme und der CO_2 -Production, und glaubt die Erklärung hierzu in verändertem Ernährungszustande, in verschiedenem Eiweiss- und Fettbestande suchen zu müssen (34, S. 30). Auch beim Menschen zeigte sich ein analoges Verhalten, obgleich die Differenzen nicht so gross

waren wie bei dem Hunde, was wohl hauptsächlich daran lag, dass nur wenige hierher gehörige Versuche vorhanden waren.

Sehr interessant sind die Nüchternwerthe von Magnus Levy (34, Tab. XXIX), wo die Versuche bei dem Hunde mit Eiweissnahrung aufgezeichnet sind. Sie wechseln von Versuch zu Versuch erheblich und zeigen unzweideutig, wie die Wärmeproduction des Thieres auch im nüchternen Zustande auf dem Eiweissverbrauch beruhte und keineswegs eine constante Grösse ausmachte. Und trotzdem, dass die Anfangswerthe in einzelnen Versuchen sehr hohe waren, stieg doch nach abermaliger Eiweisszufuhr der O-Verbrauch wieder rapid an.

Im Durchschnitt berechnete Magnus Levy nach Aufnahme von 13.2% N eine 24stündige Mehrverbrennung von etwa 10 Proc., nach 36.8% N eine solche von 21 Proc., und nach 59.3% N von 32 Proc. Die procentualen wie die absoluten Steigerungen des Gas- und Kraftwechsels erreichten viel höhere Werthe, wenn eine starke Eiweisskost dauernd gegeben wurde (34, S. 120).

Die Fettzufuhr wirkte sowohl beim Hunde, als in Versuchen am Menschen nur wenig auf den Gaswechsel ein.

Als Levy dem Hunde eine dem nothwendigen Bedarfe gerade entsprechende Menge von Kohlehydraten gab, war eine deutliche Steigerung des O-Verbrauches bemerkbar. Gab er aber 500% Reis, 200% Fleisch und 25% Fett, so stellte sich eine 24stündige Mehrproduction von 22 Proc. Wärme ein.

Aus den Ergebnissen seiner Untersuchungen folgert Magnus Levy, dass die nach der Aufnahme von Eiweiss eintretende Steigerung des Umsatzes nicht ausschliesslich auf die Verdauungsarbeit zurückzuführen sei, sondern dass man eine specifische Wirkung des Eiweisses annehmen muss, derart, dass das Eiweiss die Zellen des Körpers zu einem erhöhten Umsatz veranlasst.

Diese Folgerung Magnus Levy's scheint mir das Richtige zu treffen. Es fragt sich nur, ob nicht auch Fett und Kohlehydrate eine ähnliche Wirkung erzielen? Nach den Versuchen von Pettenkofer und Voit zu urtheilen, kann man keinen principiellen Unterschied zwischen den drei Gruppen von organischen Nährstoffen machen. Ganz ähnlich wie bei der Fleischfütterung veränderte sich bei Fett- oder Kohlehydratzugabe zum Futter allmählich der Verbrauch ihres Hundes. Als 500% Fleisch einen Monat lang gegeben wurden, nahm die Wärmeproduction von 1158 bis 993 Cal. ab, während einer gleich langen Fütterung von 500% Fleisch und 200% Fett aber von 1358 bis 1555 Cal. zu. Als 200% Stärke oder Zucker zu 500% Fleisch hinzu-

Tabelle XXXIV. Die Versuche bei Studenten und Soldaten in Gruppen nach Körpergewicht und in jeder Gruppe nach steigender N-Ausfuhr geordnet.

Versuchs- nummer	Körpergew.	N-Abgabe pro kg Gew.	Calorienumsatz pro kg Gewicht	Calorienzufuhr pro kg Gewicht	Bemerkungen
	kg	g			
A					
IV	73.60	0.229	33.4	56.5	Etwas in Bewegung; 10 Stunden Schlaf.
V	72.45	0.240	31.0	63.0	Still gewesen; 7 Stunden Schlaf.
5	71.57	0.266	32.8	40.7	
III	68.42	0.284	30.9	41.8	Sehr still gewesen.
10	71.00	0.349	36.3	38.8	
B					
I	63.67	0.135	30.1	55.4	Sehr still gewesen; 11 Stunden Schlaf.
VII	61.00	0.229	35.4	51.3	Still gewesen; 8 Stunden Schlaf.
XIII	61.60	0.235	34.9	41.0	Wenig in Bewegung; 6 Stunden Schlaf.
7	63.15	0.244	32.3	54.8	
II	66.60	0.244	36.2	61.3	Still gewesen; 11 Stunden Schlaf.
6	63.60	0.258	32.3	42.1?	
X	65.50	0.258	45.3	70.1	Ziemlich viel in Bewegung; 6 Stunden Schlaf.
4	62.95	0.270	32.7	42.1	
VIII	62.85	0.275	38.3	67.8	Sehr still gewesen; mehrere Stunden Schlaf.
VI	60.91	0.285	39.1	35.4	Still gewesen; 10 Stunden Schlaf.
IX	60.96	0.291	37.9	57.0	Still gewesen; 6 Stunden Schlaf.
1	63.85	0.299	36.7	41.5	
8	62.05	0.319	37.4	65.1	
9	64.90	0.344	38.7	38.7	
C					
2	53.20	0.245	43.2	50.6	
3	58.40	0.252	35.8	42.1	
XII	57.75	0.297	47.1	64.3	Still gewesen; 8 Stunden Schlaf.
XI	55.70	0.308	43.4	57.7	Still gewesen; 9 Stunden Schlaf.

gefügt wurden, vermehrte sich auch der Verbrauch während eines Monats ein wenig, von 1192 bis zu 1191 Cal.

Sind aber die Nährstoffe qualitativ nicht verschieden, ein gradueller Unterschied besteht doch unzweifelhaft, indem Eiweiss in viel höherem Grade als Fett und Kohlehydrate auf die Wärmeproduction influirt.

Der Vorrath an Nahrungseiweiss im Körper bestimmt bekanntlich auch die Grösse der Eiweisszersetzung. Beim Wechsel der Eiweisszufuhr verändert sich auch der Eiweisszerfall von Tag zu Tag, bis er schliesslich constant wird und ebenso viel Stickstoff ausgeschieden als eingeführt wird. *Ceteris paribus* dürfen wir daher eine Proportionalität zwischen der Eiweisszersetzung und der Gesamtwärmeproduction erwarten.

Ich habe bei Besprechung der früheren Stoffwechselversuche beim Menschen gezeigt, dass eine Proportionalität in der That vorhanden gewesen ist. Es erübrigt nur noch zu untersuchen, ob auch für meine Versuche dasselbe Verhältniss gilt.

Zu diesem Zwecke stelle ich die Versuche wieder in der vorstehenden Tab. XXXIV gruppenweise auf und ordne sie nach steigender N-Ausfuhr.

Beim Betrachten der Zahlen in dieser Tabelle erscheint es im ersten Augenblicke, als ob kein Zusammenhang zwischen der N-Abgabe und dem Kraftwechsel bestehen würde. Anders stellt sich jedoch die Sache, wenn die in Bezug auf N-Abgabe naheliegenden Versuche zusammengestellt werden. Das ist in Tab. XXXV geschehen (s. folg. S.).

Hier nimmt unverkennbar der Gesamtstoffwechsel mit dem Eiweissumsatze zu. Eine ausnahmslose Gesetzmässigkeit besteht zwar nicht. Bedenkt man aber, dass die Versuche sonst sich nicht ganz ähnlich waren, und dass besonders, wie aus den letzten Columnen der Tabellen XXXIV und XXXV zu ersehen ist, nicht nur die Menge des im Körper circulirenden zerstörbaren Eiweisses, sondern auch die des Fettes und der Kohlehydrate in den Versuchen gewechselt hat, werden die Ausnahmen erklärlich. Wo diese Nährstoffe in grösseren Mengen aufgenommen worden sind, ist durch sie der Einfluss des Eiweisses theilweise verwischt. Bei zunehmenden Intervallen zwischen den Ausscheidungsgrössen dominirt doch dieses.

Hätte die Nahrung des Versuchstages nicht geschwankt, würde wahrscheinlich in der Tab. XXXV ein paralleler Verlauf zwischen Eiweisszersetzung und Gesamtverbrauch bestanden haben, und es lässt sich ersehen, dass ein Zuwachs an jener um 0.1% N pro Kilo diesen um etwa 4 Calorien vermehrt.

Der Bedarf des Organismus an Nahrung hängt mithin nicht un-

Tabelle XXXV. Mittelwerthe von einander in Bezug auf die N-Abgabe naheliegender Versuche bei Studenten und Soldaten.

Versuch	Körpergewicht kg	N-Abgabe pro kg Gew. g	Calorienumsatz pro kg Gew.	Calorienzufuhr pro kg Gew.
<i>A</i>				
IV. V	73.03	0.234	32.2	59.8
5. III	70.00	0.275	31.9	41.3
10	71.00	0.349	36.3	38.8
<i>B</i>				
I	63.67	0.185	30.1	55.4
VII. XIII. 7. II	63.09	0.288	34.7	52.1
6. X. 4. VIII	63.68	0.265	37.1	55.5
VI. IX. 1	61.91	0.292	37.9	61.8
8. 9	63.48	0.382	38.1	51.9
<i>C</i>				
2. 3	55.80	0.249	39.5	46.3
XII. XI	56.72	0.303	45.2	61.0

wesentlich von deren Zusammensetzung ab. Will man die Grösse der Kraftzufuhr bestimmen, welche dem hygienischen Optimum entspricht, muss erst das Eiweiss optimum festgestellt werden.

Pflüger (47, S. 319) lässt sich über diese Frage, nachdem er darauf hingewiesen hat, dass der Stoffwechsel fast proportional der Eiweisszufuhr wachse, folgendermaassen aus: „Der tiefere Sinn dieser scheinbar gegen die Sparsamkeit sündigenden Einrichtung liegt wohl darin, dass die gesteigerte Eiweisszersetzung mit gesteigerter Leistungsfähigkeit verknüpft ist, welche im Kampfe um das Dasein den Sieg verbürgt.“

Auch Voit schätzt die Bedeutung des Eiweisses nicht gering. Er sagt (73, S. 522): „Jeder Mensch vermag, je nach seiner Muskelmasse, eine bestimmte Arbeit zu leisten und braucht zu deren Erhaltung eine gewisse Menge von Eiweiss in der Nahrung, gleichgültig, ob er Arbeit dabei leistet oder nicht. Der schweren Arbeit eines Schmiedes, oder eines Brauknechtes, oder eines englischen Hafenarbeiters wird sich aber nur derjenige Mann unterziehen, welcher sie auch vermöge seiner Muskeln zu leisten vermag; er wird daher zu der Erhaltung der entwickelten

Arbeitsorgane mehr Eiweiss bedürfen als ein schwacher Schneider. Wenn der letztere auch noch so viel Eiweiss aufnimmt und zersetzt, wird er doch nie die Arbeit eines Schmiedes leisten können. Das mögliche Maximum der Arbeit eines Menschen richtet sich nach der Entwicklung der Muskeln, und in demselben Maasse hat der Arbeiter auch Eiweiss in der Nahrung nöthig; deshalb findet man, dass ein kräftiger Arbeiter mehr Eiweiss zuführt, als ein schwacher, und die Eiweisszersetzung bei verschiedenen Individuen meist der Arbeit parallel geht. Aber ein und derselbe Mensch zerstört unter sonst gleichen Verhältnissen bei der Ruhe und bei der Arbeit die gleiche Eiweissmenge. Würde die Arbeit den Eiweissumsatz steigern, dann müsste ein Arbeiter an Sonn- und Feiertagen weniger Eiweiss geniessen, als an den Arbeitstagen; man untersuche aber nur einmal die Nahrung eines starken Arbeiters an solchen Tagen, und man wird erfahren, dass das Eiweissquantum beide Male das gleiche ist, denn der Arbeiter würde durch Entziehung von Eiweiss am Ruhetage an Muskelmasse verlieren und dann am Arbeitstag nicht mehr die gewohnte Arbeit leisten können.“

Hultgren und Landergren (21, S. 47) haben bei Untersuchungen über die Ernährung schwedischer Arbeiter bei frei gewählter Kost eine Proportionalität zwischen der absoluten Kraftzufuhr und der umgesetzten Eiweissmenge gefunden. Wenn nun, wie sie annehmen, die gesammte Kraftzufuhr als Maassstab der Arbeitsgrösse aufgefasst werden kann, würde die Behauptung Voit's, dass die Eiweisszersetzung bei verschiedenen Individuen der Arbeit parallel geht, durch ihre Untersuchungen bestätigt sein.

Tigerstedt (69, S. 70 bis 74) hat eine grosse Anzahl Untersuchungen über die Ernährung bei frei gewählter Kost gesammelt und in Gruppen zusammengestellt. Die Mittelwerthe der Gruppen gehen aus einer Tabelle hervor, welche ich nachstehend wiedergebe.

Tabelle XXXVI. Kostmaasse bei frei gewählter Nahrung, von Tigerstedt zusammengestellt.

Gruppe	Eiweiss, Gramm		Fett	Kohlehydrate	Totalkraftzufuhr, Cal.	
	Brutto	Netto	Brutto	Brutto	Brutto	Netto
I	88	66	39	512	2825	2538
II	130	97	64	520	3257	2932
III	141	107	71	677	4020	3618
IV	167	126	89	774	4685	4218
V	152	114	139	1062	6269	5642

Diese Tabelle zeigt, dass im Allgemeinen je reichlicher die Kost, desto grösser der Eiweissgehalt derselben ist.

Tigerstedt fasst auch die Kraftzufuhr als Maass der Arbeitsgrösse auf, weil die Untersuchungen bei Personen veranstaltet waren, deren ökonomischen Verhältnisse keinen Luxus erlaubten.

Dass verschiedene Arbeiter in der Regel, wenn auch nicht ausnahmslos, der Anstrengung entsprechend, die ihnen die Arbeit auferlegt, Eiweiss verzehren und zersetzen, müssen wir mithin als eine unzweifelhafte Thatsache betrachten. Bekanntlich wird doch nicht die Arbeit auf Kosten des Eiweisses ausgeführt; wenn in der Nahrung genügend N-freie Stoffe vorhanden sind, liefern sie die Kraft zur Muskelarbeit, und ein und derselbe Mensch zersetzt, wie Voit hervorhebt, in der Ruhe nicht weniger Eiweiss, als bei der Arbeit. Diese beiden Thatsachen scheinen sich demnach zu widersprechen, was Voit auch zu erklären versucht. Er nimmt ein Verhältniss zwischen der Masse und der Leistungsfähigkeit der Muskeln und der Eiweissmenge der Nahrung an, der Art, dass, je grössere Ansprüche an den Muskel gestellt werden, desto mehr Eiweiss in der Nahrung nöthig sei.

Gegen diese Erklärung Voit's sind doch nicht unwichtige Einwände erhoben worden. Wäre sie richtig, dann müsse man erwarten, dass ein Mensch durch eiweissreiche Ernährung seine Muskeln stark und kräftig machen könnte, was aber nicht möglich ist. Weiter hat es sich herausgestellt, dass Eiweissgleichgewicht und genügende Leistungsfähigkeit durch sehr geringe Eiweissmengen in der Nahrung herbeigeführt werden kann. Voit (73, S. 519) forderte für einen muskelstarken Arbeiter von 70^{kg} Gewicht eine tägliche Zufuhr von 118^g Eiweiss. Er hat aber selbst (74) Gelegenheit gehabt, einen Vegetarianer (57^{kg} schwer) zu beobachten, der seit mehreren Jahren nur etwa 54^g Eiweiss mit der Nahrung zu sich nahm, und dabei mit gut entwickelter Musculatur ausgerüstet war. Sivén (66, S. 128) nahm in einer Versuchszeit von 39 Tagen im Ganzen 307.44^g N auf, verlor durch Harn und Koth 296.84^g N und war somit mit einer mittleren Zufuhr von 49.25^g Eiweiss pro Tag im N-Gleichgewicht. Er wog 60^{kg} und erhielt sich bei dieser eiweissarmen Kost völlig leistungsfähig, obgleich er eine Arbeit im Laboratorium ausführte, die mit nicht unbedeutender Muskelanstrengung verbunden war.

Aber auch wenn wir die Erklärung Voit's fallen lassen und offen zugeben müssen, dass der Eiweissbestand des Körpers unter Umständen mit einem niederen Eiweissverbrauche behauptet werden kann, ist damit nicht gesagt, dass die Eiweissminima, mit welchen ein Mensch zu existiren vermag, für die Aufstellung von Normalkostsätzen nachahmens-

werth wären. Sivén (66, S. 113) empfand in den beiden letzten Serien seines Versuches grossen Ueberdross an der einförmigen und einfachen Kost. „Nur widerwillig und mit einer gewissen Willensanstrengung gelang es, den Versuch zu Ende zu führen.“ Hiermit hat er einen wichtigen Uebelstand der eiweissarmen Kost blossgelegt und einen Fingerzeig zum Verständniss der Frage gegeben.

Unsere an Eiweiss, besonders an animalischem Eiweiss reichen Nahrungsmittel sind zugleich die schmackhaftesten und ermöglichen, die Kost abwechselnd zu machen. „Mit der fortschreitenden Cultur, mit dem sich hebenden Wohlstande wächst überall der Bedarf an Animalien,“ sagt Rubner (61, S. 133). „In erster Linie bestimmt uns zu dieser Wahl der Trieb nach Genussmitteln. Die Animalien, namentlich das Fleisch, sind reicher an solchen Genussstoffen und lassen sich durch die Kochkunst ungemein verbessern. Der Städter drängt immer mehr zum Genusse der Animalien, als der Landbewohner. Die Genüsse, welche uns die animalischen Nahrungsmittel verschaffen können, kommen der Nahrungsaufnahme zu Gute, insofern diese vielfach nur dann quantitativ zureichen wird, wenn der Gaumen auch den richtigen Reiz erhält. Insofern versteht dieses Streben nach Reizen auch einen guten Zweck.“ Wenn man die Frage von diesem Gesichtspunkte betrachtet, versteht es sich leicht, dass, je mehr Nahrung der Muskelleistungen wegen aufgenommen werden muss, desto grösser wird auch der Eiweissgehalt derselben sein.

Hiermit ist zwar nicht die in hygienischer Hinsicht vortheilhafteste Eiweisszufuhr bestimmt, denn die Genussmittel verleiten ja oft zum Missbrauch. Vorläufig steht uns doch keine andere Richtschnur zu Gebote, als die Erfahrungen, welche wir aus der frei gewählten Kost der ökonomisch einigermaassen gut situirten Arbeiter gewinnen können. Wir müssen, wie Tigerstedt (69, S. 69) hervorhebt, annehmen, dass der Arbeiter, dessen ökonomische Lage zur Sparsamkeit zwingt, seinen Eiweissverbrauch dem Bedarfe entsprechend eingerichtet hat. Die eiweissreichen, speciell die animalischen Nahrungsmittel sind zwar die schmackhaftesten, aber auch die theuersten, und nur der Wohlhabende kann sich den Luxus erlauben, sie im Uebermaass zu geniessen.

Voit's Normalkostsatz für einen mittleren Arbeiter war 118^g Eiweiss, 56^g Fett und 500^g Kohlehydrate mit einem Bruttowärmerwerthe von 3055 Cal. und stimmt sehr gut mit der Gruppe II (Tab. XXXVI) von Tigerstedt überein. Demuth (15), welcher den Nahrungsverbrauch einer grösseren Anzahl von Arbeitern und Arbeitergruppen während längerer Zeit beobachtet und aus diesen Beobachtungen

das Mittel der pro 70^{kg} und Tag entfallenden Nährstoffmengen berechnet hat, findet den von Voit geforderten Eiweissconsum durchaus bestätigt.

Seit einigen Jahren sind in den Vereinigten Staaten Amerikas unter den Auspicien des Ackerbauministeriums Untersuchungen über die menschliche Ernährung angestellt worden. Diese Untersuchungen werden alle nach einem einheitlichen Plane in Versuchsperioden von 7 bis 14 Tagen ausgeführt. Die Menge der in dieser Zeit von einer Familie oder einer Genossenschaft verzehrte Nahrung wird ermittelt und deren Nährstoffgehalt nach Analysen bestimmt. Die Berechnung des Nahrungsverbrauches pro Mann und Tag geschieht nach folgender Regel:

Von dem Kostmaass eines Mannes nimmt auf

ein Weib	0.8
ein Knabe von 14 bis 16 Jahren .	0.8
ein Mädchen von 14 bis 16 Jahren	0.7
ein Kind von 10 bis 13 Jahren .	0.6
„ „ „ 6 bis 9 „ . .	0.5
„ „ „ 3 bis 5 „ . .	0.4
„ „ „ unter 3 Jahren	0.3

Ich stelle diese amerikanischen Untersuchungen, so weit sie mir zugänglich gewesen sind, in Tab. XXXVII zusammen.

Tabelle XXXVII. Untersuchungen über Kostmaasse in Amerika.

Nummer	Autor	Eiweiss in der Kost Gramm			Gesamtkraft- zufuhr (brutto)	Bemerkungen
		Animal.	Vegetab.	Gesamt- Eiweiss		
1	{ Atwater u. Bryant (4) }	44	59	103	3060	Mittel von 4 Untersuchungen bei armen italienischen Arbeiterfamilien in Chicago.
2	„	77	41	118	3365	Mittel von 5 Untersuchungen bei armen franco-canadischen Arbeiterfamilien in Chicago.
3	„	71	50	121	2895	Mittel von 10 Untersuchungen bei armen orthodoxen russischen Juden in Chicago.
4	„	96	57	153	3365	Mittel von 6 Untersuchungen bei armen liberalen russischen Juden in Chicago.

Tabelle XXXVII. (Fortsetzung.)

Nummer	Autor	Eiweiss in der Kost Gramm			Gesamtkraft- zufuhr (brutto)	Bemerkungen
		Animal.	Vegetab.	Gesammt- Eiweiss		
5	{Atwater u. Bryant (4)}	74	41	115	2885	Mittel von 8 Untersuchungen bei armen böhmischen Familien in Chicago.
6	"	66	38	104	3310	Mittel von 3 Untersuchungen bei amerikanischen Familien in Chicago, „professional man in comfortable circumstances“.
7	" (5)	—	—	97	3515	Mittel von 10 Untersuchungen bei amerikanischen Landwirthsfamilien.
8	"	—	—	106	3420	Mittel von 9 Untersuchungen bei Gewerbearbeiterfamilien.
9	"	—	—	107	3430	Mittel von 9 Untersuchungen bei Beamtenfamilien.
10	"	—	—	106	3305	Mittel von 5 Untersuchungen aus Studentenspensionen.
11	"	—	—	104	3310	Mittel von 41 Untersuchungen bei Unclassificirten.
12	Wait (76)	—	—	96	3440	Mittel von 2 Untersuchungen bei Gewerbearbeiterfamilien; der Hausvater in starker Arbeit.
13	"	—	—	123	3595	Untersuchung in einer Studentenspension, aus 90 Männern, 9 Weibern und 1 Kinde bestehend.
14	"	—	—	66	3560	Studentenspension von 13 Männern, 5 Weibern und 1 Kind.
15	{Isabel Be- vier (8)}	45	38	83	2525	Fabrikarbeiterfamilie, polnisch, sehr arm.
16	"	36	41	77	2440	Fabrikarbeiterfamilie, englisch, sehr arm.
17	"	67	80	147	5010	Eine „boiler-tender“ Familie, englisch.
18	"	68	44	112	3305	Ein Decorateur, Schweizer, in guter ökonomischer Stellung.
19	"	—	—	91	3280	Eine Richterfamilie.
20	Goss (18)	4	81	85	3320	Pachtbauerfamilie in New-Mexico, sehr arm.

Die vorgeführten Zahlen sind aus Untersuchungen, welche viele Hundert Menschen umfassen, hervorgegangen. Ganz gleichwerthig sind alle diese Untersuchungen doch nicht, da die Küchen- und Tischabfälle nur bei einigen berücksichtigt worden sind.

Atwater hat folgende Standardzahlen für Kossätze in Amerika aufgestellt:

Versuchsperson	Eiweiss g	Kraftzufuhr (brutto)
Mann, körperlich nicht arbeitend	100	2700
Mann, in leichter Arbeit	112	3000
Mann, in mittlerer Arbeit	125	3500

Das Verhältniss zwischen Eiweissgehalt und Kraftzufuhr ist auch in diesen Kossätzen etwa dasselbe, wie in dem Normalkossatz von Voit.

Wenden wir uns zu Untersuchungen, welche über die Ernährung anderer aussereuropäischer Völker gemacht sind, so finden wir zwar Kossätze, die relativ weniger Eiweiss als diese enthalten. Ich verzichte darauf, noch mehr Zahlen anzuführen, und verweise auf die Arbeiten von Scheube (65), Mori (36), Eijkman (16) und Lapique (29). Bei Aufstellung von Normalkossätzen für Europa dürfte es doch nicht angemessen sein, auf Erfahrungen letztgenannter Art zu bauen.

Halten wir uns ausschliesslich an die Beobachtungen über die frei gewählte Kost bei Völkern, welche von der europäischen Cultur berührt sind, so ergibt sich kein Grund zu der Annahme, dass der Eiweissgehalt im Normalkossatz Voit's übermässig gross wäre, wenn es indess zugegeben werden muss, dass der Mensch auch mit einer geringeren Eiweisszufuhr gut auskommen kann.

Voit (73, S. 525) nimmt an, dass von 118^g verzehrtem Eiweiss 105^g dem Körper zu Gute kommen und zersetzt werden. Die Brutto-kraftzufuhr in Voit's Kossatz beträgt 3055 Calorien. Nach Abzug von 10 Proc. für den Verlust bei der Verdauung würden 2750 Cal. als im Körper umgesetzt übrig sein. Es würde demnach das Eiweiss 15.6 Proc. des Kraftverbrauches liefern. Untersuche ich das Verhältniss zwischen dem zersetzten Eiweiss und der Gesamtzersetzung in Calorien bei meinen Studenten und Soldaten, so stellt sich heraus, dass bei den ersteren das Eiweiss mit 20.8 Proc., bei den letzteren mit 17.8 Proc. zu dem Kraftwechsel beigetragen hatte.

Ich habe für den Studenten einen mittleren Verbrauch von 1156 und für den Soldaten von 1186 Calorien pro Quadratmeter gefunden, was für beide 1171 Calorien ausmacht. Ein 70^{kg} wiegender Mann, dessen Oberfläche 2.0912^{qm} beträgt, würde demnach einen täglichen Bedarf von 2450 (netto).

und, unter der Annahme, dass von der Nahrung 10 Proc. des Wärmewerthes mit dem Kothe verloren gehen, 2700 Calorien (brutto) haben, oder pro Kilogramm berechnet 35 bezw. 38.6 Calorien.

Die Kossätze, welche laut Beobachtungen über die Ernährung bei frei gewählter Kost aufgestellt sind, stimmen mit diesen Werthen sehr gut überein. Rubner (57, S. 405) bestimmt den Nettobedarf einer Person, welche Muskelarbeit, nur insofern sie zur Locomotion nöthig ist, zu leisten hat, zu 2445 Cal., von welchen Eiweiss 19.2 Proc. liefert. In der Tigerstedt'schen Gruppe I ist die Bruttokraftzufuhr 2825 Cal., und Atwater's Standardzahl für körperlich nicht Arbeitende ist 2700 Cal.

Litteratur.

1. Andersson und Bergman, Ueber den Einfluss der Schilddrüsenfütterung auf den Stoffwechsel des gesunden Menschen. *Dieses Archiv*. 1898. Bd. VIII. S. 326.

2. Andral et Gavarret, Recherches sur la quantité d'acide carbonique exhalé par le poumon dans l'espèce humaine. *Annal. de chimie et de physique*. 1843. Série 3. Tom. VIII. p. 129.

3. Atwater and Benedict, *Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body*. Washington 1899.

4. Atwater and Bryant, *Dietary studies in Chicago in 1895 and 1896*. Washington 1898.

5. Dieselben, Studies of dietaries. *Tenth annual report of the Storrs agricult. exper. station*. Middletown, Conn. 1898. p. 130.

6. Atwater and Rosa, A respiration calorimeter and experiments on the conservation of energy in the human body. *Tenth annual report of the Storrs agricult. exper. station*. Middletown, Conn. 1898. p. 212.

7. Barral, Mémoire sur la statique chimique du corps humain. *Annal. de chimie et de physique*. 1849. Série 3. Tome XXVII. p. 129.

8. Bevier, Isabel, *Nutrition investigations in Pittsburg 1894—1895*. Washington. 1898.

9. Bidder und Schmidt, *Die Verdauungssäfte und der Stoffwechsel*. Mitau und Leipzig 1852.

10. Bischoff und Voit, *Die Gesetze der Ernährung des Fleischfressers*. Leipzig und Heidelberg 1860.

11. Bjerre, Ueber den Nährwerth des Alkohols. *Dieses Archiv*. 1899. Bd. IX. S. 323.

12. Boussingault, *Annal. de chimie et de phys.* 1839. Tome LXXI.

13. Buys, Un caso notevole di regime azotato scarso abituale. *Annali di chimia*. Bd. XVIII. Serie 4. Citirt nach *Centralbl. f. d. med. Wissensch.* 1895. S. 397.

14. Cramer, Die Verbrennungswärme der gebräuchlichsten Beleuchtungsmaterialien und über die Luftverunreinigung durch die Beleuchtung. *Arch. f. Hygiene*. 1890. Bd. X. S. 283.

15. Demuth, Ueber die bei der Ernährung des Menschen nöthige Eiweissmenge. *Münch. med. Wochenschr.* 1892. Nr. 42. S. 742.

16. Eijkman, Ueber den Eiweissbedarf der Tropenbewohner nebst Bemerkungen über den Einfluss des Tropenklimas auf den Gesamtstoffwechsel und die Wärmeproduction. *Virchow's Archiv.* Bd. CXXXI. S. 147.

17. Forster, Ueber die Kost in Armen- und Arbeitshäusern in *Voit's Untersuchung der Kost in einigen öffentlichen Anstalten.* München 1877. S. 186.

18. Goss, *Nutrition investigations in New-Mexico.* Washington 1897.

19. Hultgren und Landergren, Ueber die Ausnutzung von Margarine, Butter und hartem Roggenbrod im Darne des Menschen. *Dieses Archiv.* 1891. Bd. II. S. 373.

20. Dieselben, Untersuchung über die Ernährung bei frei gewählter Kost. *Hygiea.* Festband. 1889.

21. Dieselben, Untersuchung über die Ernährung schwedischer Arbeiter bei frei gewählter Kost. *Skrifter utgifna af Lorénska stiftelsen.* Nr. 4. Stockholm 1891.

22. Hörmann, Ueber die Ursachen der Tagesschwankungen der Temperatur des gesunden Menschen. *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XXXVI. S. 319.

23. v. Hösslin, Ueber den Einfluss der Nahrungszufuhr auf Stoff- und Kraftwechsel. *Virchow's Arch.* Bd. LXXXIX. S. 333.

24. Derselbe, Ueber die Ursache der scheinbaren Abhängigkeit des Umsatzes von der Grösse der Körperoberfläche. *Arch. f. Anat. und Physiol.* 1888. Physiologische Abtheilung. S. 323.

25. Johansson, Ueber den Einfluss der Temperatur in der Umgebung auf die Kohlensäureabgabe des menschlichen Körpers. *Dieses Archiv.* 1897. Bd. VII. S. 123.

26. Derselbe, Ueber die Tagesschwankungen des Stoffwechsels und der Körpertemperatur in nüchternem Zustande und vollständiger Muskelruhe. *Dieses Archiv.* 1898. Bd. VIII. S. 85.

27. Johansson, Landergren, Sondén und Tigerstedt, Beiträge zur Kenntniss des Stoffwechsels beim hungernden Menschen. *Dieses Archiv.* 1897. Bd. VII. S. 29.

28. Klemperer, Untersuchungen über Stoffwechsel und Ernährung in Krankheiten. *Zeitschr. f. klin. Med.* 1889. Bd. XVI. S. 550.

29. Lapique, Recherches sur la ration d'aliments albuminoïdes necessaire à l'homme. *Arch. de physiol. norm. et pathol.* 1894. p. 596.

30. Lavoisier, *Oeuvres.*

31. Lehmann, Harn in *Wagner's Handwörterbuch der Physiologie.* Braunschweig 1846. Bd. II.

32. Liebig, *Thierchemie.* Braunschweig 1846.

33. Magendie, *Précis élémentaire de Physiologie.* Paris 1825.

34. Magnus-Levy, Ueber die Grösse des respiratorischen Gaswechsels unter dem Einflusse der Nahrungsaufnahme. *Pflüger's Archiv.* 1894. Bd. LV. S. 1.

35. Magnus-Levy und Falk, Der Lungengaswechsel des Menschen in den verschiedenen Altersstufen. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* 1899. Physiol. Abtheil. Suppl. S. 314.

36. Mori, *Arch. f. Hygiene.* 1886. Bd. V. S. 334.

37. Müller, Ueber den normalen Koth des Fleischfressers. *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XX. S. 327.

38. Pettenkofer, Ueber die Respiration. *Ann. d. Chem. u. Pharm.* 1862 und 1863. II. Suppl.-Bd. S. 1.

39. Pettenkofer und Voit, Untersuchungen über die Respiration. *Ebenda.* 1862 und 1863. II. Suppl.-Bd. S. 52.

40. Dieselben, Ueber die Producte der Respiration des Hundes bei Fleischnahrung und über die Gleichung der Einnahmen und Ausgaben des Körpers dabei. *Ebenda.* 1862 und 1863. II. Suppl.-Bd. S. 361.

41. Dieselben, Untersuchungen über den Stoffverbrauch des normalen Menschen. *Zeitschr. f. Biol.* Bd. II. S. 459.

42. Dieselben, Respiationsversuche an Hunden bei Hunger und ausschliesslicher Fettzufuhr. *Ebenda.* 1869. Bd. V. S. 369.

43. Dieselben, Ueber die Zersetzungs Vorgänge im Thierkörper bei Fütterung mit Fleisch. *Ebenda.* 1871. Bd. VII. S. 493.

44. Dieselben, Ueber die Zersetzungs Vorgänge im Thierkörper bei Fütterung mit Fleisch und Fett. *Ebenda.* 1873. Bd. IX. S. 1.

45. Dieselben, Ueber die Zersetzungs Vorgänge im Thierkörper bei Fütterung mit Fleisch und Kohlehydraten und Kohlehydraten allein. *Ebenda.* 1873. Bd. IX. S. 435.

46. Pflüger, Ueber die Entstehung von Fett aus Eiweiss im Körper der Thiere. *Pflüger's Archiv.* 1892. Bd. LI. S. 229.

47. Derselbe, Ein neues Grundgesetz der Ernährung und die Quelle der Muskelkraft. *Ebenda.* Bd. LI. S. 317.

48. Derselbe, Ueber Fleisch- und Fettmästung. *Ebenda.* 1893. Bd. 52. S. 1.

49. Derselbe, Die Ernährung mit Kohlehydraten und Fleisch oder auch mit Kohlehydraten allein. *Ebenda.* Bd. LII. S. 239.

50. Prausnitz, Die chemische Zusammensetzung des Kothes bei verschiedenartiger Ernährung. *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XXXV. S. 335.

51. Ranke, Kohlenstoff- und Stickstoffausscheidung des ruhenden Menschen. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* 1862. S. 311.

52. Regnault und Reiset, Chemische Untersuchungen über die Respiration der Thiere aus verschiedenen Classen. *Ann. d. Chem. u. Pharm.* 1849. Bd. LXXIII. S. 92.

53. Rieder, Bestimmung der Menge des im Koth befindlichen, nicht von der Nahrung herrührenden Stickstoffes. *Zeitschr. f. Biol.* 1884. Bd. XX. S. 378.

54. Rubner, Ueber die Ausnützung einiger Nahrungsmittel im Darmcanale des Menschen. *Ebenda.* 1879. Bd. XV. S. 115.

55. Derselbe, Vertretungswerthe der organischen Nährstoffe. *Ebenda.* 1883. Bd. XIX. S. 313.

56. Derselbe, Einfluss der Körpergrösse auf Stoff- und Kraftwechsel. *Ebenda.* Bd. XIX. S. 535.

57. Derselbe, Calorimetrische Untersuchungen. *Ebenda.* 1885. Bd. XXI. S. 250 und 387.

58. Rubner, Der Einfluss abundanter Kost auf die Wärmebildung. *Sitzungsber. d. Bayrischen Acad. d. Wiss., math.-phys. Classe.* 1885. Bd. XV.
59. Derselbe, *Biologische Gesetze.* Marburg 1887.
60. Derselbe, Die Quelle der thierischen Wärme. *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XXX. S. 71.
61. Derselbe, Physiologie der Nahrung und der Ernährung. Leyden's *Handbuch der Ernährungstherapie.* Bd. 1. S. 20.
62. Derselbe, *Lehrbuch der Hygiene.* 6. Aufl. Leipzig u. Wien 1899.
63. Sanctorius, De statica medicina aphorismi. Venetia 1614. Citirt nach Voit, *Zeitschr. f. Biol.* Bd. I. S. 72.
64. Scharling, Recherches sur la quantité d'acide carbonique expiré par l'homme dans vingt-quatre heures. *Ann. de chimie et de physique.* 1843. Série 3. Tome VIII.
65. Scheube, Die Nahrung der Japaner. *Arch. f. Hygiene.* Bd. I. S. 352.
66. Sivéén, Ueber das Stickstoffgleichgewicht beim erwachsenen Menschen. *Dieses Archiv.* 1899. Bd. X. S. 91.
67. Sondén und Tigerstedt, Untersuchungen über die Respiration und den Gesamtstoffwechsel des Menschen. *Dieses Archiv.* 1895. Bd. VI. S. 1.
68. Tangl, Beitrag zur Kenntniss des Energiegehaltes des menschlichen Harns. *Arch. f. Anat. u. Phys.* 1899. Physiol. Abth. Suppl.-Bd. S. 251.
69. Tigerstedt, *Grundsatser för utspisningen i allmänna anstalter.* Stockholm 1891.
70. Derselbe, Das Minimum des Stoffwechsels beim Menschen. *Nord. med. arkiv.* 1897. Festband. Nr. 37.
71. Tsuboi, Ueber die N-Ausscheidung durch den Darm. *Zeitschr. f. Biol.* 1897. Bd. XXXV. S. 68.
72. Voit, C., *Physiologisch-chemische Untersuchungen.* Augsburg 1857.
73. Derselbe, Physiologie des allgemeinen Stoffwechsels und der Ernährung. Hermann's *Handbuch d. Physiol.* Bd. VI. I.
74. Derselbe, Ueber die Kost eines Vegetariers. *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XXV. S. 232.
75. Voit, Erwin, *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XXXII. S. 336.
76. Wait, *Nutrition investigations at the University of Tennessee.* Washington 1898.
77. Zuntz und v. Mering, Inwiefern beeinflusst die Nahrungszufuhr die thierischen Oxydationsprocesse? Pflüger's *Archiv.* Bd. XXXII. S. 179.

Untersuchungen über Acetonkörper.^{1 2}

Von

Dr. med. H. Chr. Geelmuyden.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Christiania.)

I. Das Verhalten der Acetessigsäure im Organismus des Menschen und des Hundes.

Das Verhalten der Acetessigsäure, wenn sie in den Menschen- oder Thierkörper einverleibt wird, ist bis jetzt wenig untersucht worden. Die zerstreuten Angaben in der diesbezüglichen Litteratur gehen gewöhnlich darauf aus, dass die Acetessigsäure vom gesunden Menschen- und Thierkörper vollständig umgesetzt, vom diabetischen Organismus dagegen ganz oder theilweise wieder ausgeschieden wird, entweder als Aceton, oder als unzersetzte Säure.

So berichtete Frerichs³ über Versuche von Brieger an Thieren und gesunden Menschen, welche zeigen, dass die Acetessigsäure nicht giftig ist und dass „kleinere Dosen spurlos verschwinden, bei grösseren Aceton in beträchtlichen Mengen im Harn auftritt, jedoch nicht der mit Eisenchlorid sich färbende Körper“. Nach Albertoni⁴ „steht es

¹ Der Redaction am 16. Juni 1900 zugegangen.

² Unter „Acetonkörper“ werde ich in Folgendem sowohl Acetessigsäure und β -Oxybuttersäure als Aceton verstehen. Ich halte eine solche Bezeichnungswiese für berechtigt, weil diese Stoffwechselproducte meistens zusammen auftreten, und unzweifelhaft auch in physiologischer Beziehung zusammen gehören. Hiermit in Uebereinstimmung werde ich auch, wenn nichts Anderes ausdrücklich bemerkt wird, mit „Acetonurie“ einen Zustand verstehen, bei welchem Acetonkörper im Allgemeinen, nicht Aceton allein ausgeschieden wird.

³ Frerichs, Ueber den plötzlichen Tod und über das Coma bei Diabetes. *Zeitschr. f. klin. Med.* Bd. VI. S. 29.

⁴ Albertoni, Die Wirkung und Verwandlung einiger Stoffe etc. *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* Bd. XVIII. S. 236.

Skandin. Archiv. XI.

bei Hunden fest, dass sich keine Acetessigsäure im Harn wiederfindet, wenn man ihnen dieselbe per os darreicht. Bei Kaninchen aber findet sich die Säure wohl im Harn wieder. Wenn man ferner Hunden vor und nach der Acetessigsäure eine gewisse Menge doppeltkohlensaures Natrium giebt, so dass der Harn alkalisch oder neutral wird, so findet man auch bei ihnen die Säure im Harn vor. Man darf daher schliessen, dass die Bedingung, von welcher der Uebergang der Acetessigsäure in den Harn abhängt, in der Reaction des Nierenparenchyms und des Harns liegt“.

Schwartz,¹ der Einzige, welcher detaillirte Versuchsdaten mittheilt, findet nach der Acetessigsäuredarreichung an normale Hunde weder Eisenchlorid-, noch Jodoformreaction im Harn, ebenso wenig Jodoformreaction im Exhalat. Schwartz stellte sich die Aufgabe, die „Oxydation“ der Acetonkörper in ihre Abhängigkeit „von der Fütterungsart und vom Zustande des Thieres, ob gesund oder diabetisch“, zu untersuchen. Er fand — in Uebereinstimmung mit meinen Versuchen über denselben Gegenstand² —, dass Aceton nur zum kleinsten Theile umgesetzt wurde, und dass der verschwundene Theil unabhängig von derartigen Variationen der Versuchsbedingungen war. Die Versuche mit Acetessigsäure ergaben, dass ein 4·1^{kg} schwerer Hund 10^s acetessigsäures Natron vollständig ohne Aceton- oder Acetessigsäureausscheidung bewältigen konnte. Nach Entfernung des Pankreas bekam der Hund eine diabetische Acetonurie und Diaceturie, welche durch Eingiessen von acetessigsäurem Natron in den Magen noch verstärkt wurde. Schwartz schliesst daraus, „dass die Oxydation der Acetessigsäure im diabetischen Organismus anders vor sich geht, als im normalen Thierkörper, der sie complet zu verbrennen vermag“. Schwartz zog vor, den diabetischen Zustand bei Hunden durch Pankreasexstirpation statt durch Phloridzinvergiftung hervorzurufen, in der Meinung, dass „vom Phloridzindiabetes als einem Nierendiabetes eine Alteration der Acetonbilanz kaum zu erwarten war“. Er nimmt also an, dass die mangelhafte Umsetzung der dem diabetischen Thiere beigebrachten Acetessigsäure eine spezifische diabetische Stoffwechselanomalie darstellt, welche nichts mit der Thatsache gemein hat, dass bei phloridzinvergifteten Hunden der Hunger, und beim Menschen nicht allein der Hunger, sondern schon das blosse Fehlen der Kohlehydrate in der Nahrung Acetonurie hervorruft.

¹ Schwartz, Ueber die Oxydation des Acetons und homologer Ketone der Fettsäurereihe. *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* Bd. XL. S. 186.

² Geelmuyden, Ueber Aceton als Stoffwechselproduct. *Zeitschr. f. physiol. Chem.* Bd. XXIII. S. 481.

Mir schien es ebenso wahrscheinlich, dass die Ursache der mangelhaften Vernichtung in allen Fällen dieselbe sei, nämlich die Einschränkung des Kohlehydratstoffwechsels. Um die Richtigkeit dieser Vermuthung zu prüfen, habe ich eine Reihe von Versuchen über die Umsetzung von Acetessigsäure theils an mir selbst, theils an phloridzinvergifteten Hunden ausgeführt.

Ich lasse hier zuerst die Selbstversuche folgen.

Versuch I.

Versuchstag	Körpergewicht kg	Kost	NaHCO ₃ per os g	Acetessigsäure per os g	Harn		
					Menge g	N g	Aceton mg
1	—	Gewöhnl. Kost	—	—	1060	15.88	18
2	85.37	„	—	—	1541	17.96	22
3	85.82	„	—	—	?	14.92	27
Summa:					67	22 ^{ms}	Aceton = 39 ^{ms} Acetessigsäure täglich.

Versuch II.

1	—	Gewöhnl. Kost	15	21	1392	12.62	99	Harn alk. Fe ₃ Cl ₆ -Reaction ÷
2	—	„	—	—	1427	14.42	33	Harn schwach alkalisch.
Summa:			15	21	2819	27.04	132	= 232 ^{ms} Acetessigsäure.

Versuch III.

1	83.83	Fleisch-Fettkost	—	—	1122	16.76	348	Fe ₃ Cl ₆ -Reaction schwach +
2	84.18	„	15	—	1663	22.41	953	Harn alk. Fe ₃ Cl ₆ -React. +
3	84.35	„	—	—	1746	25.20	1308	Harn neutral, dreht links. Fe ₃ Cl ₆ -Reaction +
4	84.04	—	—	—	—	—	—	—
Summa der Tage 2 u. 3:			15	—	3409	47.61	2261	= 3979 ^{ms} Acetessigsäure.

Versuch IV.

1	—	Fleisch-Fettkost	—	—	1194	18.39	312	Fe ₃ Cl ₆ -Reaction +
2	84.81	„	15	20.1	2032	24.42	1517	Harn alk. Fe ₃ Cl ₆ -Reaction +
3	86.05	„	—	—	1962	22.16	1535	Harn sauer. Fe ₃ Cl ₆ -Reaction stark +
4	85.18	—	—	—	—	—	—	—
Summa der Tage 2 u. 3:			15	20.1	3994	46.58	3052	= 5272 ^{ms} Acetessigsäure.

Jeder Versuch dauerte 2 bis 3 Tage. Die Versuchsanordnung war bei dem einzelnen Versuche folgende:

Versuch I dauerte 3 Tage. Bei diesem wurde die Ausscheidung von Aceton bei gewöhnlicher Kost bestimmt und als Acetessigsäure berechnet.

Versuch II dauerte zwei Tage bei gewöhnlicher Kost. Am ersten Versuchstage Vormittags wurden 21^g Acetessigsäure und 15^g Natriumbicarbonat eingenommen, das letztere, um den Magensaft zu neutralisieren. Die Acetessigsäure sollte nämlich als solche resorbirt werden, würde aber von dem sauren Magensaft leicht in Kohlensäure und Aceton gespalten werden, was die Versuchsergebnisse trüben könnte.

Von den in Versuch II gefundenen, als Acetessigsäure berechneten Acetonwerthen wurde der in Versuch I gefundene und für zwei Tage berechnete abgezogen. Die in Procenten berechnete Differenz der aufgenommenen Acetessigsäure wollen wir als *A* bezeichnen. Dieser Werth giebt an, wie viel von der aufgenommenen Acetessigsäure unverändert oder als Aceton den Körper durch die Nieren verlässt. Welches von beiden, ob Säure oder Aceton, lässt sich nicht bestimmen, da die Mengen so klein sind, dass sie weit unterhalb der Empfindlichkeitsgrenze der Eisenchloridreaction liegt.

Im Versuch III setzte ich mich auf eine kohlehydratfreie Kost, welche in folgender Weise zusammengestellt war:

Frühstück: 100^g Rinderbraten, 50^g magerer Schinken, 2 Eier (zusammen 100 bis 120^g wiegend), 100^g Butter, 1 Tasse Kaffee mit etwas Rahm.

Mittagsessen: 250^g Rindfleisch, 100^g Butter, zuweilen etwas Branntwein.¹ Das Rindfleisch wurde am ersten und dritten Versuchstage als Beef zubereitet, am zweiten gekocht und mit der Bouillon gegessen. Eine Stunde nach dem Mittagsessen eine Tasse Kaffee mit etwas Rahm.

Abendessen: wie Frühstück, nur mit Thee ohne Rahm statt Kaffee.

An jedem Tage wurden also gegessen von Nahrungsmitteln:

Rindfleisch, roh gewogen .	250 ^g
Rinderbraten und Schinken	300
Eier	etwa 320
Butter	300

Den Nährwerth dieser Kost schätze ich auf 150 bis 165^g Eiweiss mit 24 bis 26.5^g N und 275 bis 330^g Fett. Der Wärmewerth der Kost liegt also zwischen 3170 und 3750 Bruttocalorien.

Am zweiten Versuchstage wurden Vormittags 15^g Bicarbonat genommen.

20 bis 40^g Alkohol.

Versuch IV wurde ganz wie Versuch III angestellt, nur mit dem Unterschiede, dass am zweiten Versuchstage Vormittags gleichzeitig mit dem Bicarbonat 20·1^s Acetessigsäure als Natriumsalz genommen wurden.

Wenn die im Versuch III während der zwei letzten Tage gefundene Acetonmenge als Acetessigsäure berechnet, von dem gleichen Werthe des Versuches IV abgezogen und die Differenz in Procenten der aufgenommenen Acetessigsäure umgerechnet wird, so giebt der gefundene Werth *B* an, wie viel von der aufgenommenen Säure den Körper bei kohlehydratfreier Kost durch die Nieren als unzersetzte Acetessigsäure oder Aceton verlassen hat. Wird nun weiter von diesem Werthe *B* der oben aus den Versuchen I und II abgeleitete Werth *A* abgezogen, so giebt die so gefundene Differenz *C* die von dem Fehlen der Kohlehydrate in der Kost bewirkte Mehrausscheidung von Acetessigsäure im Harn an. Der Werth *C* giebt also sozusagen an, ob und wie viel das Vermögen des Organismus, Acetessigsäure zu zersetzen, durch die Einschränkung des Kohlehydratstoffwechsels herabgesetzt worden ist.

Aus leicht ersichtlichen Gründen wurde der Acetongehalt der Athemluft nicht berücksichtigt. Dies wird aber den Werth der gefundenen Ergebnisse kaum beeinträchtigen. Es darf angenommen werden, dass der Acetongehalt der Athemluft mit dem Aceton- und Acetessigsäuregehalt des Harns parallel läuft.

Bei der Acetonbestimmung im Harn nach Messinger destillirte ich denselben nur ein Mal unter Zusatz von etwas verdünnter Schwefelsäure. Dies scheint mir richtiger zu sein, als das von Huppert empfohlene zweimalige Destilliren. Dabei erleidet man gewöhnlich einen Verlust, welcher sicherlich grösser ist, als der von den Phenolen im entgegengesetzten Sinne bemerkte Fehler.

Das acetessigsäure Natron stellte ich in folgender Weise her. Acetessigsäureäther¹ wurde einer berechneten Menge nicht zu starker Natronlauge² zugesetzt und bis zum folgenden Tage hingestellt. Darauf wurde mit Salzsäure neutralisirt und, um Alkohol und möglicher Weise vorhandenes Aceton zu entfernen, 5 Mal mit Aether geschüttelt. Der Aether wurde abgehoben und der in der Flüssigkeit gelöste Aetherrest durch Luftdurchlassen entfernt. In einem aliquoten Theile der Flüssigkeit wurde Acetonbestimmung vorgenommen und der gefundene Gehalt an Aceton in Acetessigsäure umgerechnet. 1 Theil Aceton entspricht 1·76 Theilen Acetessigsäure.

¹ Von Merck bezogen.

² Eine Natronlauge von dem spec. Gew. 1·309 verseift gleiche Theile Ester. 3 Theile Lauge müssen aber vor dem Zusatz des Esters mit 5 Theilen Wasser verdünnt werden, um die gebildete Seife in Lösung zu halten.

Die Zahlenergebnisse der Versuche sind aus den beigegebenen Tabellen (S. 99) ersichtlich. Zur Berechnung des Werthes *A* sind folgende Daten gegeben: Ausgeschieden wurden im Versuch I durchschnittlich an 1 Tage 22^{mg} Aceton = 39^{mg} Acetessigsäure, an 2 Tagen also 78^{mg} Acetessigsäure.

Im Versuch II, bei welchem die Acetessigsäure auf ein Mal am ersten Versuchstage genommen wurde, ist die Acetonausscheidung schon am zweiten Versuchstage bis ganz nahe an den Normalwerth gesunken. Die aufgenommene Acetessigsäure ist also in 24 Stunden fast vollständig umgesetzt worden. Der Werth *A* ist 154^{mg} Acetessigsäure = 0.73 Proc. der aufgenommenen 21^g.

Von der eingenommenen Acetessigsäure erscheint also bei gemischter Kost nur ein sehr kleiner Bruchtheil im Harn, selbst wenn derselbe, wie in den vorliegenden Versuchen, durch Bicarbonat alkalisch gemacht worden ist.

Anders bei kohlehydratfreier Kost. Im Versuch 3 schied ich am zweiten und dritten Versuchstage zusammen 2261^{mg} Aceton = 3979^{mg} Acetessigsäure, im Versuch IV nach Einnahme von 20.1^g Acetessigsäure 3052^{mg} Aceton = 5372^{mg} Acetessigsäure aus. Der Werth *B* berechnet sich daraus zu 5372 — 3979 = 1393^{mg} = 6.93 Proc. der eingenommenen Acetessigsäure. Davon gehen ab 0.73 Proc. — Werth *A* —, welche auch bei Kohlehydrat umgesetzt im Harn ausgeschieden sein würden. Uebrig bleiben 6.2 Proc. — Werth *C* — als Mehrausscheidung, welche von dem Mangel der Kohlehydrate in der Kost verschuldet ist.

Die weitere Discussion dieser Ergebnisse werde ich bis nach der Darstellung der an Hunden ausgeführten Versuche aufschieben.

Bei Hunden giebt es nicht, wie beim Menschen, eine „alimentäre“ Acetonurie. Erst bei Pancreas diabetes oder bei Phloridzinglykosurie scheiden sie Acetonkörper aus. Die Phloridzinglycosurie ist allem Anscheine nach von renalem Ursprung. Die Nieren scheinen durch die Vergiftung das Vermögen zu verlieren, Zucker im Blute zurückzuhalten, wie es namentlich aus Zuntz'¹ Versuchen hervorgeht.

Bei der leichten Phloridzinvergiftung, welche bei meinen Versuchen zur Anwendung kam, verhalten sich die Thiere in Bezug auf Acetonurie in mehreren Beziehungen wie Menschen auf kohlehydratfreie

¹ Zuntz, Zur Kenntniss des Phloridzindiabetes. *Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth.* 1895. S. 570.

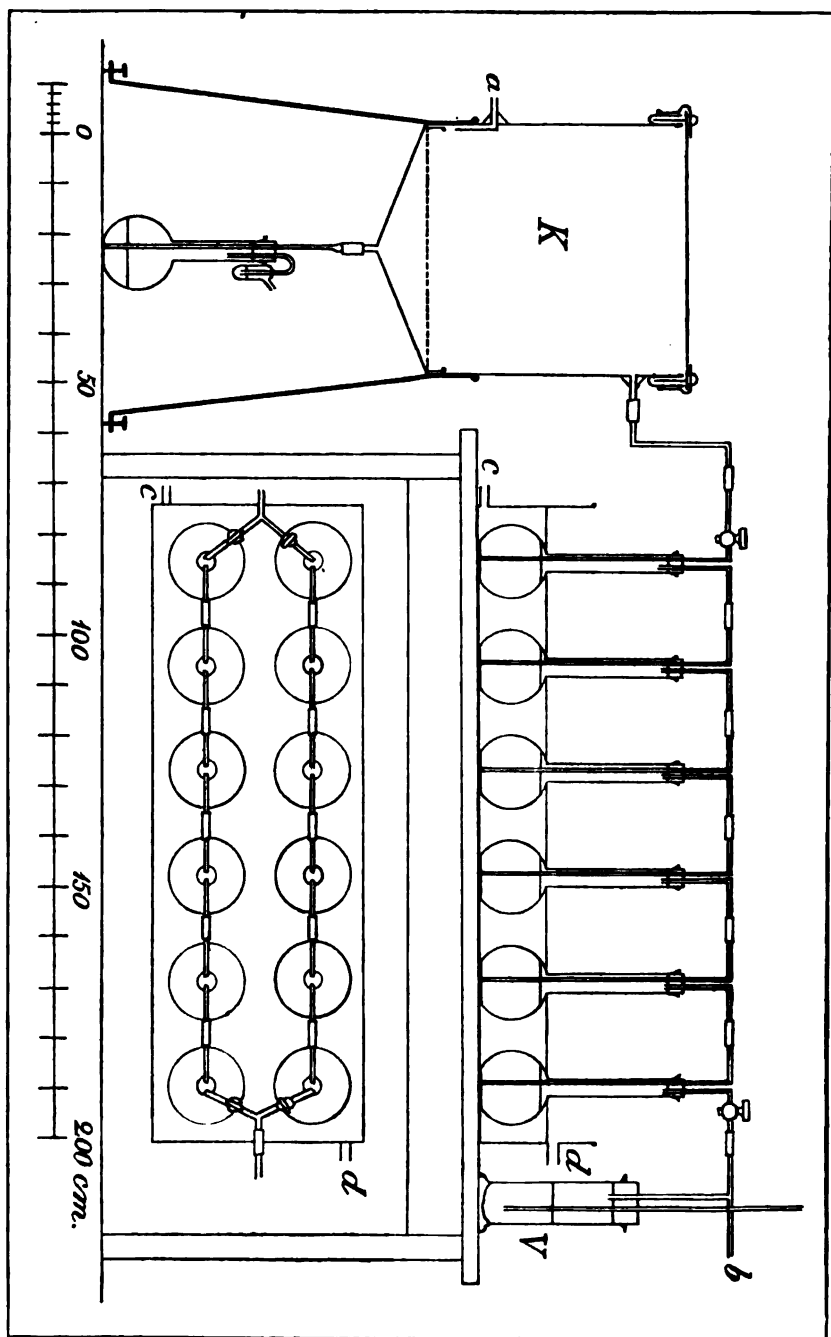
Kost. Die Acetonurie entsteht bei Hunger und verschwindet oder nimmt ab bei Zufuhr von Eiweiss oder Kohlehydraten. Ob bei dieser Acetonurie ausser Aceton auch Acetessigsäure ausgeschieden wird, lässt sich nicht entscheiden, da das im Harn ausgeschiedene Phloridzin eine der Gerhard'schen ähnliche Eisenchloridreaction giebt. Linksdrehung des Harns habe ich nie beobachtet.

Die Phloridzinglykosurie schwindet gänzlich nach dem Aufhören der Vergiftung und hinterlässt keine Anomalien des Stoffwechsels. Sie hat nichts mit dem wirklichen Diabetes zu thun. Der Zustand eignet sich deswegen besonders für Versuche über das Umsetzungsvermögen des Organismus gegenüber der Aceton- und β -Oxybuttersäure. Wird dieses auch bei Phloridzinglycosurie herabgesetzt gefunden, so ist damit ein guter Grund gegeben, die Herabsetzung nur als eine Wirkung des Verlustes, bezw. der Abwesenheit von Kohlehydraten, und nicht als eine spezifische diabetische Stoffwechselanomalie zu erklären.

Bei den Versuchen mit phloridzinvergifteten Hunden habe ich die Ausscheidung von Aceton durch die Lungen berücksichtigt. Der Respirationsapparat war ähnlich dem von Schwartz¹ beschriebenen gebaut, und ich habe mit demselben sehr zuverlässige Resultate erzielt.

Die Construction ist aus der nachstehenden Figur ersichtlich. Das Thier wurde in den aus Zinkblech hergestellten Käfig *K* eingeschlossen, durch welchen Luft durchgesaugt wurde. An dem oberen Rande des Käfigs war eine Rinne für Quecksilber, in die der nach unten wendende Rand des eisernen Deckels hineintauchte. In der oberen Fläche des Deckels war ein Glasfenster eingekittet. Mit dem trichterförmigen Boden des Käfigs war der Kolben zum Aufsammeln des Harns durch Schlauch und Glasrohr verbunden. Der Kolben war mit Gummistopfen und Quecksilberventil verschlossen. Die aus dem Käfig gesaugte Luft passirte auf dem Wege zur Wasserstrahlpumpe sechs mit Wasser fast gefüllte Zweiliterkolben, welche als Waschflaschen dienten. In diesen wurde das Aceton vollständig zurückgehalten, und ich brauchte nur die Flaschen bis zur Marke anzufüllen und einen aliquoten Theil, gewöhnlich 200 ^{cem}, zum Titriren nach Messinger herauszuholen. Selbst bei raschem Luftstrom war es nur selten nöthig, den Inhalt des fünften Kolbens zu titriren, nie den des sechsten. Diese Titrirungen wurden jeden Vormittag ausgeführt und, um den Versuch dabei nicht länger als nothwendig abubrechen, waren sechs andere Kolben bereit, durch welche die Luft nur durch Umdrehung von vier Hähnen geleitet werden konnte. Die Anordnung ist in der Figur aus der unter dem Tische angebrachten Zeichnung ersichtlich. Die Kolben standen in einem gemeinschaftlichen Kühler aus Zinkblech, durch welchen

¹ Schwartz, Ueber die Oxydation des Acetons etc. *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* Bd. XL. S. 168.



Leitungswasser strömte. Der Luftstrom wurde durch ein Quecksilber-ventil *V* regulirt.

Um die Brauchbarkeit des Apparates zu prüfen, habe ich zwei Controlversuche mit reinem Aceton angestellt. An der Eingangsöffnung *a* des Käfigs wurde ein kleiner Kolben mit doppelt durchbohrtem Stopfen, worin Glasröhren sich befanden, mittels eines Schlauches angebracht. Das mit der Eingangsöffnung verbundene Rohr reichte fast bis zum Boden des Kolbens, jedoch nicht in das daselbst befindliche Aceton. Das letztere war genau abgewogen. Jetzt wurde, wie bei den Thierversuchen, während 24 Stunden Luft durch den Apparat gesaugt. Das Aceton verdämpfte rasch in dem Kolben und am folgenden Tage fanden sich 99 Proc. des abgewogenen Acetons in den Messkolben wieder vor.

Versuch I dauerte 23½ Stunden. 1584 Liter Luft wurden durchgesaugt und 7·9631^g Aceton abgewogen.

Kolben	I	enthielt	4·7688 ^g	Aceton
"	II	"	2·8546	"
"	III	"	0·6232	"
"	IV	"	0·1168	"
"	V	"	0·0166	"

Summa: 7·8800^g Aceton = 98·96 Proc. der abgewogenen Menge.

Versuch II dauerte 23 Stunden. 1006 Liter Luft wurden durchgesaugt, 8·2319^g Aceton abgewogen.

Kolben	I	enthielt	6·2776 ^g	Aceton
"	II	"	1·6384	"
"	III	"	0·2286	"
"	IV	"	0·0234	"
"	V	"	0·0029	"

Summa: 8·1709^g Aceton = 99·26 Proc. der abgewogenen Menge.

Ein Uebelstand beim Apparat ist, dass sich selbst bei raschem Luftstrom Wasser aus der Athemluft im Käfig niederschlägt, welcher sich dem Harn im Kolben beimischt. Deswegen konnte ich die Harnmenge nicht genau bestimmen. Die in den Tabellen angeführten Zahlen geben die Menge des mit solchem von der Respiration herrührenden Wasser vermischten Harns an. Ein Mal fand ich im Harnkolben nur Wasser und konnte dessen Acetongehalt getrennt bestimmen. Es enthielt nur 24^{mg}, während im Harn derselben 24 Stunden 100^{mg} und in den Wasserflaschen 161^{mg} Aceton gefunden wurden. Dieser Umstand bewirkt also einen kleinen Fehler in der Vertheilung der Acetonausscheidung auf Nieren und Lungen, und zwar zu Gunsten der Nieren. Die Gesamtsumme, auf die es bei der Beurtheilung der Versuche am meisten ankommt, wird natürlich dabei nicht beeinflusst.

Die Thiere wurden jeden Morgen aus dem Käfig herausgeholt und catheterisirt, dann gewogen und bekamen Phloridzin eingespritzt.¹ Dies alles nahm keine Viertelstunde in Anspruch, und die während dieser Zeit ausgeschiedene Acetonmenge wird keinen nennenswerthen Fehler veranlassen haben. Ausserdem ist der Fehler für alle Versuche, welche verglichen werden sollen, relativ gleich gross.

Die Versuche wurden ganz in derselben Weise angeordnet, wie die eben beschriebenen Selbstversuche. Beim ersten Versuch wurde ein Normalwerth für die Ausscheidung von Aceton durch Nieren und Lungen festgestellt. Darnach wurde in Versuch II die Acetonausscheidung nach subcutaner Einspritzung² von acetessigsäurem Natron bestimmt. Die Differenz der Acetonausscheidung — als Acetessigsäure berechnet — beim ersten und zweiten Versuch, der Werth A , ist der unzersetzte Theil der eingespritzten Säure.

Im Versuch III wurde die Acetonausscheidung nach Phloridzinvergiftung bestimmt, im Versuch IV die Acetonurie bei Phloridzinvergiftung nach subcutaner Einspritzung von acetessigsäurem Natron. Aus diesen zwei Versuchen wurde der Werth B , die bei der Phloridzinglycosurie unzersetzt gebliebene Acetessigsäure, berechnet, und endlich die Differenz $B - A = C$, welche die durch die Glycosurie bewirkte Herabsetzung des Umsetzungsvermögens für eingebrachte Acetessigsäure ausdrückt.

Die Werthe A , B und C sind, wie bei den Selbstversuchen, in Procenten der applicirten Acetessigsäure berechnet.

Nachstehend (S. 107 bis 109) folgt die tabellarische Darstellung der Versuche mit den Hündinnen F , H und I . Die einzelnen Versuche dauerten 6 Tage. Die Thiere hungerten zuerst 3 Tage, dann folgten 4 Tage mit Phloridzinvergiftung. Vom zweiten Phloridzintage an bekamen sie Wasser zu trinken, um die Harnmenge, welche die Acetonausscheidung beeinflusst, zu reguliren. Die Acetessigsäureeinspritzung erfolgte entweder am zweiten und dritten, oder am dritten und vierten Tage.

Die Werthe A , B und C , welche sich aus den Tabellen berechnen lassen, sind folgende:

¹ Es wurde eine 15 proc. alkoholische Lösung in Anwendung gebracht.

² Die Application per os scheiterte daran, dass die Thiere das durch die Sonde in den Magen eingeführte Präparat gleich nachher wieder erbrachen. Nur mit einem Paar nicht phloridzinvergifteten Thieren gelang es mir, einigermaassen brauchbare Versuche zu erhalten. Diese weichen nicht von den in den Tabellen angeführten (Versuch II), bei welchen die Acetessigsäure subcutan applicirt wurde, ab.

Versuch I. Hündin F.

Versuchstag	Körper- gewicht	Gewichts- verlust	Futter	Acetessig- säure subcutan	Harn		Aceton in der Atemluft	Gesamt- aceton	Phloridzin
					Menge	Zucker			
	kg	g		g	ccm	g	mg	mg	g
1	—	—	Hunger	—	—	—	—	—	—
2	—	—	"	—	—	—	—	—	—
3	13.03	—	"	—	—	—	—	—	—
4	—	1120	"	—	920	—	32	25	57
5	—	—	"	—	—	—	—	—	—
6	11.91	—	"	—	—	—	—	—	—
Summa:				—	920	—	32	25	57 = 19 ^{mg} Aceton = 33 ^{mg} Acetessigsäure täglich.

Versuch II. Hündin F.

	Körper- gewicht	Gewichts- verlust	Futter	Acetessig- säure subcutan	Harn		Aceton in der Atemluft	Gesamt- aceton	Phloridzin
					Menge	Zucker			
	kg	g		g	ccm	g	mg	mg	g
1	—	—	Hunger	—	—	—	—	—	—
2	—	—	"	—	—	—	—	—	—
3	—	—	"	—	—	—	—	—	—
4	—	—	"	—	—	—	—	—	—
5	13.82	390	"	6.0	360	—	52	33	85
6	13.43	360	100 ccm Wasser	6.3	435	—	37	19	56
7	13.07	—	"	—	—	—	—	—	—
Sa. der Tage 5 u. 6:				12.3	795	—	89	52	141 = 248 ^{mg} Acetessigsäure.

Harn alkal. Fe_2Cl_6 react. —
Harn alkal. Fe_2Cl_6 react. —

Versuch III. Hündin F.

Versuchstag	Körpergewicht kg	Gewichtsverlust g	Futter	Acetessigsäure subcutan g	Harn			Aceton in der Athemluft mg	Gesamt- aceton mg	Phloridzin g
					Menge ccm	Zucker g	Aceton mg			
1	—	—	Hunger	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	"	—	425	33.7	25	11	36	0.48
3	14.76	520	"	—	543	37.8	220	64	284	0.48
4	14.23	450	160 ^{ccm} Wasser	—	640	42.7	821	208	1029	0.48
5	13.78	330	370	—	710	42.9	485	70	505	0.48
6	13.45	310	"	—	—	—	—	—	—	—
7	13.14	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sa. der Tage 5 u. 6:				—	1350	85.6	1256	278	1534 = 2700 ^{mg} Acetessigsäure.	—

Versuch IV. Hündin F.

1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	14.76	580	—	—	517	30.8	17	15	32	—
4	14.18	360	160 ^{ccm} Wasser	—	470	33.5	179	58	287	—
5	13.82	230	360	6.0	575	32.4	639	160	799	—
6	13.59	360	392	6.3	710	33.8	979	240	1219	—
7	13.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sa. der Tage 5 u. 6:				12.3	1285	66.2	1618	400	2018 = 3552 ^{mg} Acetessigsäure.	—

Versuch I. Hündin H.

Versuchstag	Körper- gewicht	Gewichts- verlust	Futter	Acetessig- säure subcutan	Harn			Aceton in der Athemluft	Gesamt- aceton	Phloridzin
					Menge	Zucker	Aceton			
	kg	g		g	ccm	g	mg	mg	mg	g
1	—	—	[Hunger	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	"	—	—	—	—	—	—	—
3	8.98	560	"	—	—	—	12.1	17.0	29.1	—
4	—									
5	8.37	—	"	—	—	—	—	—	—	—
Summa:										
				—	—	—	12.1	17.0	29.1 = 9.7 ^{ms} Aceton = 17.1 ^{ms} Acetessig- säure täglich.	—

Versuch II. Hündin H.

Versuchstag	Körper- gewicht	Gewichts- verlust	Futter	Acetessig- säure subcutan	Harn			Aceton in der Athemluft	Gesamt- aceton	Phloridzin
					Menge	Zucker	Aceton			
	kg	g		g	ccm	g	mg	mg	mg	g
1	—	—	Hunger	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	"	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	"	—	—	—	—	—	—	—
4	8.81	210	"	4	165	—	27	85	62	—
5	8.60	20	200 ^{ccm} Wasser	—	175	—	19	11	30	—
6	8.58	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sa. der Tage 4 u. 5:				4	340	—	46	46	92 = 161 ^{ms} Acetessigsäure täglich.	—

Versuch III. Hündin H.

Versuchstag	Körpergewicht kg	Gewichtsverlust g	Futter	Acetessigsäure subcutan g	Harn				Aceton in der Athemluft mg	Gesamt-aceton mg	Phloridzin g
					Menge ccm	Zucker g	N g	Aceton mg			
1	—	—	Hunger	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	"	—	—	—	—	—	—	—	—
3	9.49	340	"	—	272	21.3	—	7	8	15	0.36
4	9.15	150	190 ^{ccm} Wasser	—	303	14.7	—	28	83	61	0.36
5	9.00	270	100 "	—	323	16.8	—	219	90	309	0.36
6	8.73	90	450 "	—	510	17.6	—	311	122	433	0.36
7	8.64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sa. der Tage 4 u. 5:				—	626	31.5	—	247	123	870 = 651 ^{mg}	Acetessigsäure.

Versuch IV. Hündin H.

1	—	—	Hunger	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	"	—	—	—	—	—	—	—	—
3	8.35	300	"	—	240	18.0	—	14	10	24	0.36
4	8.05	70	200 ^{ccm} Wasser	5.7	247	14.2	—	264	137	391	0.36
5	7.98	220	150 "	5.1	370	14.8	—	421	98	514	0.36
6	7.76	180	150 "	—	285	13.1	—	284	95	379	0.36
7	7.58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sa. der Tage 4 u. 5:				10.8	617	29.0	—	675	230	905 = 1592 ^{mg}	Acetessigsäure.

Versuch I. Hündin I.

Versuchstag	Körper- gewicht	Gewichts- verlust	Futter	Acetessig- säure subcutan	Harn				Aceton in der Atemluft	Gesamt- aceton	Phloridzin
					Menge	Zucker	N	Aceton			
	kg	g		g	ccm	g	g	mg	mg	mg	g
1	—	—	Hunger	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	"	—	—	—	—	—	—	—	—
3	11.33	210	"	—	190	—	2.01	6.1	8.9	15.0	—
4	11.12	280	"	—	245	—	1.85	5.7	6.8	12.5	—
5	10.84	180	"	—	163	—	1.67	4.2	8.4	12.6	—
6	10.66	280	"	—	215	—	2.03	4.4	6.9	11.3	—
7	10.43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sa. der Tage 4 u. 5:			—	—	408	—	3.52	9.9	15.2	25.1 = 44 ^{ms} Acetessigsäure.	—

Versuch II. Hündin I.

Versuchstag	Körper- gewicht	Gewichts- verlust	Futter	Acetessig- säure subcutan	Harn				Aceton in der Atemluft	Gesamt- aceton	Phloridzin
					Menge	Zucker	N	Aceton			
	kg	g		g	ccm	g	g	mg	mg	mg	g
1	—	—	Hunger	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	"	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	"	—	—	—	—	—	—	—	—
4	11.06	270	"	6.2	260	—	1.71	51	69	120	—
5	10.79	120	888 ^{ccm} Wasser	7.4	493	—	2.36	93	37	130	—
6	10.67	30	462	—	453	—	2.33	10	16	26	—
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sa. der Tage 4 u. 5:			—	13.6	753	—	4.07	144	106	250 = 440 ^{ms} Acetessigsäure.	—

Versuch III. Hündin 7.

Versuchstag	Körpergewicht		Gewichtsverlust	Futter	Acetoesigsäure subcutan	Harn				Aceton in der Athemluft	Gesamt-aceton	Phloridzin
	kg	g				Menge		Zucker	N	Aceton		
					g	ccm	g	g	g	mg	mg	g
1	—	—	—	Hunger	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	"	—	—	—	—	—	—	—	—
3	11.62	270	—	"	—	210	20.3	5.17	—	46	27	73
4	11.35	170	406 ^{ccm}	Wasser	—	530	19.6	6.67	—	62	83	145
5	11.18	280	363	"	—	590	19.8	7.53	—	169	137	306
6	10.90	380	495	"	—	795	21.1	7.43	—	179	50	229
7	10.57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sa. der Tage 4 u. 5:				769 ^{ccm} Wasser	—	1120	39.4	14.20	—	231	220	451 = 794 ^{mg} Acetoesigsäure.

Versuch IV. Hündin 1.

1	—	—	Hunger	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	"	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	11.88	340	"	—	—	275	17.1	3.79	—	17	20	37
4	11.54	40	406 ^{ccm} Wasser	—	6.1	442	25.9	8.03	—	185	194	379
5	11.50	350	"	—	7.4	660	23.1	8.65	—	450	304	754
6	11.15	80	"	—	—	520	22.6	6.11	—	137	55	192
7	11.07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sa. der Tage 4 u. 5:				769 ^{ccm} Wasser	13.5	1102	49.0	16.68	—	635	493	1133 = 1994 ^{mg} Acetoesigsäure.

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>				
Hund <i>F</i>	1.5	6.9	5.4	Proc.	der	eingespritzten	Acetessigsäure
„ <i>H</i>	3.2	8.7	5.5	„	„	„	„
„ <i>I</i>	2.9	8.9	6.0	„	„	„	„
<hr/>							
Durchschn.:	2.5	8.2	5.6	Proc.			

Diese Werthe sind denen bei den Selbstversuchen gefundenen sehr ähnlich. Jedenfalls stimmen sie qualitativ mit denselben überein. Nur *A* ist etwas grösser bei den Thierversuchen, 2.5 Proc. gegen 0.7 Proc. bei den Selbstversuchen, und zwar wohl weil das Aceton der Athemluft mit in Rechnung gebracht ist.

Zur Controle, ob die Versuchsbedingungen bei den verschiedenen zu vergleichenden Versuchen genügend gleich gehalten sind — welches nothwendig ist, um zufällig wirkende Einflüsse auf die Acetonausscheidung auszuschliessen —, habe ich neben den Acetonbestimmungen auch Körpergewicht, Harnmenge, Zuckergehalt des Harns (durch Polarisiren)¹ und beim Hunde *I* auch die N-Ausscheidung bestimmt. Bei den Versuchen I und II mit unvergifteten Thieren haben diese Factoren weniger Einfluss auf das Resultat, weil die Acetonausscheidung schon an und für sich sehr gering ist. Anders bei den Versuchen III und IV mit Phloridzinvergiftung und reichlicher Acetonausscheidung. Die Erfahrung lehrte mich bald, dass bei solchen Versuchen die Forderung der Gleichheit der Versuchsbedingungen sorgfältig aufrecht erhalten werden muss. Hier spielen alle Factoren mit, um die Acetonausscheidung zu beeinflussen. Dieselbe hängt sowohl vom Anfangsgewicht des Thieres, wie von der Harnmenge und Zuckerausscheidung ab, ja sogar von der Jahreszeit. Im Frühling z. B., während des Haarwechsels, sind die Thiere für solche Versuche ganz ungeeignet. Sie vertragen die Vergiftung weniger gut, können sogar sterben, liefern jedenfalls andere Zucker- und Acetonmengen, als im Herbst und Winter.

Die Harnmenge und die Glykosurie durch Wasserzufuhr zu reguliren, ist mir nur einigermaassen gelungen. Die Schwankungen dieser zwei wichtigen Factoren können aber nicht die Resultate der Versuche unsicher machen. Bei den Versuchen mit dem Hunde *I* könnten diese Schwankungen vielleicht dazu beigetragen haben, die Differenzen *B* und *C* zu vergrössern, genügen aber kaum, dieselben allein zu erklären. In den Versuchen mit den Hunden *F* und *H* dagegen sind sie derartig, dass sie zur Verkleinerung der Werthe *B* und *C* beigetragen haben müssten. Die N-Ausscheidung ist in den Parallelversuchen I—II und III—IV mit dem Hunde *I* zwar nicht ganz gleich, bietet aber keine erheblichen Differenzen.

Einiges Interesse bietet die Vergleichung der durch die Lungen und durch die Nieren ausgeschiedenen Acetonmengen.

¹ Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. XXVI. S. 382.

Skandin. Archiv. XI.

Aceton wurde ausgeschieden durch die Nieren in Procenten des Gesamtacetons:

Hund	Keine Vergiftung		Phloridzinvergiftung	
	Versuch I	Versuch II Acetessigsäure subcutan	Versuch III	Versuch IV Acetessigsäure subcutan
<i>F</i>	56.2	63.1	81.9	80.2
<i>H</i>	41.6	50.0	66.8	74.6
<i>I</i>	39.5	57.6	51.2	56.1

Diese Werthe sind alle viel höher als die, welche bei meinen früher mitgetheilten Versuchen¹ mit Acetoneinspritzung gefunden wurden. Bei diesen wurden nur 0.2 bis 20.1 Proc. der ganzen ausgeschiedenen Menge im Harn gefunden, bei den hier mitgetheilten 39.5 bis 81.9 Proc. Dies deutet meiner Meinung nach darauf hin, dass das bei Phloridzinvergiftung und nach Acetessigsäureeinspritzung im Harn bestimmte Aceton hauptsächlich als Acetessigsäure zur Ausscheidung gelangt ist, nur zum kleineren Theil als Aceton, welches flüchtig ist und deshalb leicht ausgeathmet wird. Namentlich ist der Nierenwerth gross bei Phloridzinvergiftung, bis 82 Proc. Demnach sollte diese Vergiftung sowohl eine Diaceturie, als eine Acetonurie, und zwar vorzugsweise die erstere hervorrufen.

Ich wende mich jetzt der Discussion der Werthe *A*, *B* und *C* zu. Welche physiologische Bedeutung soll diesen Werthen zugeschrieben werden?

Der Werth *A* bedeutet offenbar, dass der menschliche Organismus bei kohlehydrathaltiger Kost, der Hund auch bei Hunger, die Acetessigsäure, wenn sie dem Körper von aussen einverleibt wird, fast vollständig umzusetzen im Stande ist. Daraus folgt wieder, dass im Körper bei den genannten Ernährungsverhältnissen bedeutende Mengen Acetessigsäure gebildet und wieder umgesetzt werden können, ohne in den Excreten zum Vorschein zu kommen. Dass bei den mitgetheilten Versuchen kleine Bruchtheile der einverleibten Säure im Harn und in der Athemluft als Aceton oder unveränderte Säure wieder erschienen, wird diese Schlüsse nicht entkräften können, um so weniger, weil die Bedingungen für die Umsetzung der Säure bei den mitgetheilten Versuchen kaum so günstig sein dürften, wie bei normalen Verhältnissen.

¹ Ueber Aceton als Stoffwechselproduct. *Zeitschr. f. physiol. Chemie.* Bd. XXIII. S. 448.

Es ist bei denselben eine verhältnissmässig grosse Menge auf einmal in die Circulation hineingeworfen, und zwar an einen Ort, welcher für ihre sofortige Umsetzung wahrscheinlich nicht gerade günstig ist.

Der Werth B bedeutet, wenn er grösser als A ist, dass dieses Vermögen des Körpers, Acetessigsäure umzusetzen, unter den bei den Versuchen gegebenen Verhältnissen eingeschränkt wird, und der Werth C ($= B - A$) ist ein zahlenmässiger Ausdruck für diese Einschränkung. Dieselbe tritt bei Menschen schon bei kohlehydratfreier Kost — wahrscheinlich auch bei Hunger — ein, bei Hunden aber erst bei Pankreasdiabetes (Schwartz) und Phloridzinglykosurie, das heisst unter Umständen, bei welchen der Kohlehydratstoffwechsel thatsächlich sehr eingeschränkt ist.

Die bei mangelhafter Kohlehydratumsetzung eintretende Einschränkung des Vermögens, Acetessigsäure umzusetzen, ist aber bei meinen Versuchen nicht erheblich. In Folge dessen entgehen nur 5 bis 6 Proc. der einverleibten Säure der Umsetzung. Dies darf aber nicht befremden, wenn vorausgesetzt werden darf, dass ein normal ernährter Körper grössere Mengen von Acetessigsäure bildet und wieder umsetzt. Bei der alimentären Acetonurie beim Menschen und bei der Phloridzinglykosurie bei Hunden kommen ja dann auch nur kleinere Bruchtheile der wirklich gebildeten Säure zur Ausscheidung, und es ist von vornherein zu vermuthen, dass die einverleibte Säure einem ganz ähnlichen Schicksale unterliegen wird, wie die im Körper gebildete, d. h. dass auch von der einverleibten nur kleinere Bruchtheile der Umsetzung entschlüpfen.

Im schwersten Diabetes, mit grösstmöglicher Ausschaltung des Kohlehydratstoffwechsels und mächtiger Acetonurie würde voraussichtlich der Werth C viel grösser ausfallen. Von Menschen liegen darüber keine Versuchsmessungen vor, von Hunden mit Pankreas nur die von Schwartz¹ mitgetheilten. Sie gestatten eine Berechnung in der von mir durchgeführten Weise. Eine solche ergibt, dass im Versuch I 4.6 und im Versuch II 12.4 Proc. der einverleibten Acetessigsäure als unzersetzte Säure oder Aceton wieder ausgeschieden wurden. Zwar fehlen zur eingehenderen Beurtheilung dieser Versuche Angaben über die gleichzeitige Zuckerausscheidung; aus dem Versuch II scheint doch hervorzugehen, dass das Vermögen, Acetessigsäure umzusetzen, bei Pankreasdiabetes mehr geschwächt werden kann, als dies bei meinen Versuchen mit leichter Phloridzinglykosurie geschehen ist. Nach meinen

¹ l. c. S. 186 und 187.

Versuchen über Acetessigsäure — welche wahrscheinlich auch für Oxybuttersäure Gültigkeit haben¹ — steht nichts im Wege, auch die diabetische Acetonurie ebenso wie die alimentäre Acetonurie bei Menschen und die Phloridzinacetonurie bei Hunden als eine secundäre Erscheinung aufzufassen, als eine directé Folge der Einschränkung des Kohlehydratumsatzes, und nicht als eine spezifische diabetische Stoffwechselanomalie. Im Grossen und Ganzen scheinen auch die klinischen Erfahrungen (Hirschfeld,² Naunyn,³ Külz⁴) mit einer solchen Auffassung übereinzustimmen: Bei Diabetikern der schwereren Form, welche Zucker auch bei kohlehydratfreier Kost ausscheiden, nimmt die Acetonurie bei ebensolcher Kost ab und zu mit der Zuckerausscheidung, und es gelingt bei rationeller Behandlung, beide einzuschränken. Ferner verhält sich die Acetonurie bei leichtem Diabetes nicht anders, als bei gesunden Menschen. Sie tritt erst bei kohlehydratfreier Kost auf, um bei Kohlehydratzufuhr rasch wieder zu verschwinden. Ebenso verhalten sich die mittelschweren Formen, bei welchen die Wirkung der Kohlehydrate doch weniger prompt eintritt, als bei den leichten (Hirschfeld). Bei den schwersten Formen hat die Zufuhr von Kohlehydraten gar keine Wirkung auf die Acetonurie, natürlich weil sie nicht umgesetzt werden.

Dies Alles passt sehr wohl zu der Auffassung, dass die diabetische Acetonurie secundärer Natur sei. Es kommen aber sicherlich auch Fälle von Diabetes vor, bei welchen ein Parallelismus zwischen der Acetonurie und dem Defecte im Kohlehydratstoffwechsel nicht nachweisbar ist. Namentlich v. Noorden⁵ hebt dies hervor. Nach ihm ist der Defect in der Kohlehydratzersetzung „sicher nicht der einzige Grund für das Auftreten und die Schwankungen der Acetonurie“. Als Beispiel führt er zwei Diabetiker an, die gleich strenge Kost erhielten und beide bei dieser Kost zuckerfreien Harn entleerten. Der eine schied täglich 2 bis 3%, der andere nur 3 bis 4% Aceton im Urin aus. Auch Naunyn⁶ theilt einen Fall von „schwerem Diabetes mit

¹ Litteratur hierüber bei Magnus-Lewy, Die Oxybuttersäure und ihre Beziehungen zum Coma diabeticum. *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* Bd. XLII. S. 158.

² Hirschfeld, Beobachtungen über die Acetonurie und das Coma diabeticum. (II. Theil.) *Zeitschr. f. klin. Med.* Bd. XXXI. S. 276.

³ Naunyn, *Der Diabetes mellitus.* S. 190.

⁴ Külz, *Klinische Erfahrungen über Diabetes mellitus.* S. 442.

⁵ v. Noorden, *Die Zuckerkrankheit und ihre Behandlung.* Zweite Aufl. 1898. S. 96.

⁶ l. c. S. 147.

paradox guter Toleranz für Kohlehydrate“ mit, bei welchem die Eisenchloridreaction schwer zum Verschwinden gebracht werden konnte, Oxybuttersäure im Harn nachgewiesen wurde und die NH_3 -Ausscheidung stark war.

Es scheint also wirklich bei Diabetes Acetonurie vorzukommen, selbst bei einer Umsetzung von Kohlehydraten, welche bei gesunden Menschen genügen würde, Acetonurie zu verhindern. Fälle entgegengesetzter Art, bei welchen eine äusserst geringe Toleranz für Kohlehydrate ohne Acetonurie bestände, sind aber, so weit mein Wissen reicht, bis jetzt noch nicht beobachtet worden.

Sollen wir nun, weil sich bei Diabetes nicht immer Parallelismus zwischen dem Defecte in dem Kohlehydratstoffwechsel und der Acetonurie nachweisen lässt, die Hypothese von der gemeinschaftlichen Ursache der Acetonurie beim Gesunden und beim Diabetiker fallen lassen? Ich glaube nicht, und zwar aus folgenden Gründen.

Die grosse Stoffwechselfunction, welche wir Kohlehydratumsatzung nennen, ist natürlich kein einfacher und isolirter Process, sondern sie ist aus mehreren neben einander verlaufenden Processen zusammengesetzt, welche in verschiedener Weise an dem Stoffwechsel der Organe theilnehmen. Unter diesen Processen dürfte es auch einen geben, welcher seinen Ausdruck in der eigenthümlichen Wechselwirkung zwischen Kohlehydraten und Acetonkörpern findet. Nun geht man aber kaum zu weit, wenn man annimmt, dass diese Processe sowohl im gesunden, als im kranken Körper, wenigstens innerhalb gewisser Grenzen unabhängig von einander, an Intensität variiren können, dass z. B. beim Diabetes die Umsetzung von Acetonkörpern vorzugsweise leiden kann, während die sonstige Ausnutzung der Kohlehydrate mehr oder weniger intact bliebe. Acetonurie bei guter Toleranz für Kohlehydrate wäre demnach nichts Auffälliges. Dass aber umgekehrt die Umsetzung von Acetonkörpern intact bliebe, während alle anderen zum Kohlehydratstoffwechsel gehörenden Processe darnieder lägen, mit anderen Worten: das Fehlen der Acetonurie beim schwersten Diabetes würde aus diesem Gesichtspunkte kaum verständlich gemacht werden können, ohne eine absolute Unabhängigkeit dieses Processes von dem übrigen Kohlehydratstoffwechsel vorauszusetzen. Eine solche besteht aber nach den bis jetzt vorliegenden Beobachtungen über Acetonurie allem Anscheine nach kaum.

Was nun die chemische Art der Stoffwechselvorgänge betrifft, welche sich abspielen, wenn Acetessigsäure — oder β -Oxybuttersäure — bei genügendem Kohlehydratumsatz im Körper zum Verschwinden gebracht wird, so scheint es mir noch verfrüht, Hypothesen darüber zu

bilden, weil solche Hypothesen einer empirischen Grundlage zu sehr entbehren müssten. Vielfach wird Nasse's¹ secundäre Oxydation als Erklärung herangezogen, und zwar stellt dieselbe eine Möglichkeit dar, mit welcher man bei der Aufstellung von Hypothesen zu rechnen hätte.

Es darf aber nicht aus dem Auge gelassen werden, dass die Wechselwirkung zwischen Kohlehydraten und Acetonkörpern von weit complicirter Art sein kann. Zwischen dem Umsatz der Kohlehydrate einerseits und der Acetessigsäure und β -Oxybuttersäure andererseits können sehr wohl eine ganze Reihe chemischer Processe eingeschaltet sein, von deren Natur wir vorläufig nicht einmal eine Vermuthung haben können.

II. Ueber den Einfluss des Nahrungsfettes auf die alimentäre Acetonurie.

In einer früher² mitgetheilten Reihe von Untersuchungen über die alimentäre Acetonurie machte ich die Beobachtung, dass die bei kohlehydratfreier Kost im Harn ausgeschiedene Acetonmenge mit dem Fettgehalte der Kost zu- und wieder abnahm. Dieses Verhalten der Acetonurie zeigte sich aber nicht ganz constant, und die Richtigkeit meiner Beobachtung ist deshalb auch in Zweifel gezogen worden. Magnus-Levy³ z. B. meint, es seien Verdauungsstörungen im Spiele gewesen, welche die Acetonurie beeinflusst haben könnten.

Dies war nun nicht der Fall. Freilich wurden die grossen Mengen Fett nicht immer vollständig resorbirt, von Diarrhoe oder sonstigen pathologischen Verdauungsstörungen war aber nie die Rede.

In neuester Zeit ist meine Beobachtung von Waldvogel⁴ bestätigt worden. Einen Versuch von Gerhardt und Schlesinger⁵ darf ich wohl auch als eine Bestätigung derselben ansehen. Bei demselben war nämlich sowohl der Fettgehalt der Kost (225 g), als auch die Acetonurie viel bedeutender, als bei allen früher mitgetheilten Versuchen über alimentäre Acetonurie.

¹ Nasse, Ueber secundäre Oxydation. *Pflüger's Archiv.* Bd. XLI. S. 378.

² *Zeitschr. f. physiol. Chemie.* Bd. XXXIII.

³ Magnus-Levy, Die Oxybuttersäure und ihre Beziehungen zum Coma diabeticum. *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* XLII. S. 160.

⁴ Waldvogel, Woraus entsteht das Aceton? *Centralbl. f. inn. Med.* 1899. Bd. XX. S. 729.

⁵ Gerhardt und Schlesinger, Ueber Kalk- und Magnesiaauscheidung bei Diabetes mellitus u. s. w. *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* Bd. XLII. S. 88 bis 98.

Da ich bei Gelegenheit der eben mitgetheilten Untersuchungen über die Umsetzung der Acetessigsäure auf solche Versuche eingerichtet war, habe ich ein paar Selbstversuche vorgenommen, welche die Abhängigkeit der Acetonurie von dem Fettgehalte der Kost eclatant bestätigen. Der Grund, weshalb bei meinen früheren Versuchen diese Abhängigkeit nicht immer deutlich an den Tag tritt, ist wahrscheinlich hauptsächlich in der verschleppten Ausscheidung der Acetonkörper zu suchen. Dies erklärt, dass die Acetonurie nicht streng parallel der Fettresorption läuft, sondern dass Schwankungen in der Bildung von Acetonkörpern bei ihrer Ausscheidung ausgeglichen werden können, und dass die ausgeschiedene Acetonmenge sich noch mehrere Tage halten kann, nachdem die Ursache der vermehrten Bildung aufgehört hat zu wirken. Dazu kommt noch, dass die Abhängigkeit der Acetonurie vom Nahrungsfett offenbar erst bei grossen Schwankungen der Fettzufuhr deutlich hervortritt. Dies erklärt die fehlende Uebereinstimmung meiner Versuche mit denen von Hirschfeld,¹ bei welchen der Fettgehalt der Kost immer relativ gering war.

Um den Einfluss der genannten verschiedenen Momente auf die Versuchsergebnisse zu eliminieren, habe ich jetzt nicht, wie früher, nur einen Versuch mit Variationen des Fettgehaltes der Kost, sondern zwei zu vergleichende Versuche, welche beide bei möglichst gleichem Ernährungszustand anfangen. Vor beiden Versuchen hatte ich nämlich längere Zeit gewöhnliche gemischte Kost genossen. Dann genoss ich während dreier Tage die kohlehydratfreie Kost, welche auf S. 100 angeführt ist. Der Gehalt dieser Kost an Butter war in dem einen Versuche etwa 120^g, in dem anderen etwa 300^g täglich. Die Versuchsergebnisse sind in den folgenden Tabellen enthalten.

Versuch I.

Versuchstag	Körper- gewicht	Kost	Harn			
			Menge	N	Aceton	
	kg		ccm	g	mg	
1	84.67	Fleisch-Fettkost mit 120 ^g Fett	1346	22.39	56	Harn sauer Fe ₂ Cl ₆ -react. —
2	83.73	„	1410	25.51	144	Harn sauer Fe ₂ Cl ₆ -react. schwach +
3	83.15	„	1305	26.49	317	Harn sauer Fe ₂ Cl ₆ -react. stärker +
4	82.84	—	—	—	—	—
Summa:			4259	74.39	517	

¹ L. c. I.

Versuch II.

Versuchstag	Körper- gewicht kg	Kost	Harn			
			Menge	N	Aceton	
			ccm	g	mg	
1	86.86	Fleisch-Fettkost mit 300 ^g Fett	1874	17.84	309	—
2	85.87	"	1744	24.16	686	Harn sauer Fe_2Cl_6 -react. schwach +
3	84.28	"	1417	24.74	907	Harn sauer Fe_2Cl_6 -react. stärker +
4	84.21	—	—	—	—	—
Summa:			5035	86.74	1902	

Versuch II kam bei der Ausführung dieser Versuche zuerst an die Reihe, dann Nr. III (auf S. 102 mitgeteilt) und zuletzt der hier angeführte Versuch I. Beim Versuch III wurde ich zuerst auf die Linksdrehung des Harns aufmerksam. Diese wird wohl auch (wie in Gerhardt und Schlesinger's Versuch) in Versuch II zugegen gewesen sein. Im Versuch I konnte ich dagegen keine Linksdrehung constatiren.

Bei der fettreichen Kost beträgt also die Acetonurie, d. h. Aceton und Acetessigsäure zusammen als Aceton bestimmt, fast das Vierfache wie bei der weniger fettreichen Kost. Ausserdem ist höchst wahrscheinlich bei der fettreichen Kost β -Oxybuttersäure im Harn zugegen gewesen, nicht aber bei fettarmer Kost.

Wie ist nun diese Abhängigkeit vom Fettgehalte der Kost zu erklären?

Bevor ich auf die Discussion dieser Frage eingehe, muss ich ausdrücklich hervorheben, dass der phloridzinvergiftete Hund, welcher sich sonst in Bezug auf die Abhängigkeit der Acetonurie von der Ernährung ganz wie der Mensch verhält, gerade in diesem Punkte von dieser Regel abweicht.¹ Fettfütterung bewirkt — wenn sie gelingt — eine Herabsetzung der Acetonurie bei phloridzinvergifteten Hunden. Die steigernde Wirkung des Fettes auf die Acetonurie ist also vorläufig nur für den Menschen constatirt.

Ich habe früher auf die Möglichkeit hingewiesen, dass die Vermehrung der Acetonurie von den flüchtigen Fettsäuren der Butter be-

¹ Zeitschr. f. physiol. Chemie. Bd. XXVI. S. 384.

wirkt sein könnte, und leitete diese Möglichkeit von dem Befunde ab, dass einverleibte Buttersäure unter Umständen die Acetonurie bei Phloridzinglykosurie steigern kann. Ich muss die Berechtigung dieses Gedankens noch aufrecht erhalten, um so mehr, nachdem ich in Külz'¹ Werke über Diabetes Berichte über ähnliche Versuche mit dem gleichen Resultate bei Diabetikern gefunden habe. Doch muss ich Magnus-Levy gegenüber zugeben, dass die flüchtigen Fettsäuren der Butter als „Quelle“ der Acetonkörper bei der mächtigen diabetischen Acetonurie nicht ausreichen, nicht einmal bei der alimentären Acetonurie bei meinen Selbstversuchen, noch weniger bei Gerhardt und Schlesinger's Versuch, bei welchem die Hauptmenge des Fettes nicht aus Butter, sondern aus Speck bestand, deren Gehalt an flüchtigen Fettsäuren voraussichtlich geringer gewesen sein muss, als der der Butter. Die acetonvermehrenden Eigenschaften müssen also auch höheren Fettarten zukommen.

Als andere Möglichkeiten, welche für die Bildung der Acetonkörper in Betracht kommen könnten, nennt in jüngster Zeit Magnus-Levy, nachdem er die Unhaltbarkeit der Hypothese von der Bildung der Acetonkörper aus Eiweiss nachgewiesen hat, die Bildung durch Spaltung und Oxydation von Fett und die Bildung durch directe Synthese.²

Ich gebe zu, dass die erstere Möglichkeit eine sehr einfache Erklärung der Wirkung des Fettes auf die alimentäre Acetonurie beim Menschen geben würde, wenn nur nicht die Thatsache dagegen stände, dass der phloridzinvergiftete Hund sich in dieser Beziehung dem Menschen ganz entgegengesetzt verhält. Die Wirkung des Fettes beim Menschen darf deshalb nicht ohne Weiteres als ein Beweis dafür gelten, dass Fett die „Quelle“ der Acetonkörper sei.

Die Frage nach der Bildungsweise der Acetonkörper erscheint mir in der That eben so dunkel, wie die Frage nach der physio-

¹ Külz, l. c. S. 495.

² Die Hinweisung auf die Möglichkeit einer Bildung durch directe Synthese schreibt Hr. Magnus-Levy (l. c. S. 224) mir zu. Dies muss aber auf einem Missverständnisse beruhen. Ich habe nie einen solchen Gedanken ausgesprochen und in der That nie ernstlich an diese Möglichkeit gedacht. Ich halte sie nicht für besonders wahrscheinlich. Die in meinen Abhandlungen über Acetonurie auf die Bildungsweise der Acetonkörper bezüglichen Sätze sind ganz allgemein gehalten, sprechen nur von „verwickelten chemischen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen intermediären Stoffwechselproducten, besw. zwischen Fett, und Kohlehydraten“, von „Zellthätigkeit“ im Allgemeinen u. s. w. Vgl. *Zeitschr. f. physiol. Chemie.* Bd. XXIII. S. 472 bis 473.

logischen Bedeutung von der Wechselwirkung zwischen Kohlehydraten und Acetonkörpern. Die Möglichkeiten, mit denen man bei einer theoretischen Discussion über diese Frage zu rechnen hätte, sind in diesem Augenblicke noch nicht entfernt zu überblicken. Wahrscheinlich sind die Vorgänge weit verwickelter, als man bis jetzt anzunehmen geneigt war.

Zur Kenntniss der Harnsäurebildung im menschlichen Organismus unter physiologischen Verhältnissen.¹

Von

Dr. V. O. Sívén
aus Helsingfors (Finnland).

(Aus dem physiologischen Laboratorium des Carolinischen medico-chirurgischen Instituts in Stockholm.)

Nachstehende Untersuchung, welche gleichzeitig mit einem Stoffwechselversuch ausgeführt wurde, geschah in der Absicht, zur Lösung der Frage über das Verhältniss der Harnsäure zu den weissen Blutkörperchen unter normalen Verhältnissen einen Beitrag zu liefern.

Da ich in diesem Stoffwechselversuche, dessen Ergebnisse in nächster Zeit veröffentlicht werden, in hohem Grade mit der Eiweissmenge in der Nahrung variirte, so liess sich voraussetzen, dass ein gewisses charakteristisches Verhalten sowohl der Leukocyten, als der Harnsäure sich während des Versuches zeigen musste, wenn die Hofmeister'sche Theorie über die Eiweissresorption und die Horbaczewski'sche Hypothese über das Entstehen der Harnsäure aus den Kernen der weissen Blutkörperchen richtig wäre.

Bei niedrigem Eiweissgehalte in der Nahrung dürfte keine sog. Verdauungsleukocytose vorhanden sein, und aus diesem Grunde eine Verminderung der Harnsäureausscheidung stattfinden, während bei reichlicher Eiweissmenge in der Nahrung es sich umgekehrt verhalten müsste.

In dieser Voraussetzung, die ja völlig mit der Horbaczewski'schen Theorie im Einklang steht, wurde der Versuch begonnen.

Wenn ich unmittelbar an die Darstellung desselben gehe, ohne auch nur als Einleitung die Stellung anzudeuten, in der sich die Frage gegenwärtig befindet, so geschieht dieses nur, weil eine derartige Uebersicht mir überflüssig erscheint, da kürzlich eine monographische Arbeit über die Harnsäure von Schreiber² zu Tage getreten ist. Ich nehme mir die Freiheit, auf diese verdienstvolle Zusammenstellung zu verweisen, wo die weitläufige Litteratur ziemlich ausführlich behandelt ist.

¹ Der Redaction am 8. Juli 1900 zugegangen.

² Schreiber, *Ueber die Harnsäure unter physiol. und pathol. Bedingungen*. Stuttgart 1899.

Versuchsordnung.

Als Versuchsperson diente Verfasser selbst. Er ist 31 $\frac{1}{2}$ Jahre alt, völlig gesund, von gewöhnlicher Körperconstitution und wiegt 65 kg.

Der Versuch begann am 30. October und dauerte ununterbrochen bis zum 30. December 1899.

Die ersten 5 Tage befolgte ich meine gewöhnliche Diät, jedoch mit einer nicht unbedeutenden Vermehrung der Fleischmenge zum Frühstück. Nahrung wurde nur zwei Mal eingenommen, um 10 bis 11 Uhr Morgens und 5 bis 6 Uhr Abends.

Während der ganzen Versuchszeit lebte ich so regelmässig als möglich, stand jeden Morgen kurz vor 8 Uhr auf, arbeitete im Laboratorium von 9 Uhr Morgens bis etwa 8 Uhr Abends und ging um 10 Uhr zu Bette. Während des Versuches wurden alle Mahlzeiten im Laboratorium eingenommen, wo die Kost von mir selbst abgewogen und unter meiner Aufsicht zubereitet wurde. Der Versuchstag wurde von 8 Uhr Morgens bis zur selben Zeit des folgenden Tages gerechnet. — Der Harn wurde sorgfältig gesammelt und mit etwas Chloroform versetzt.

Am 5. Nov. begann der eigentliche Versuch mit folgendem Speisezettel (Serie I):

10^h Vorm. 300 g Kartoffeln; 60 g Butter; 150 g Aepfel mit 75 g Zucker (als Compot zubereitet).

5^h Nachm. 300 g Kartoffeln; 60 g Butter; 150 g Aepfel und 75 g Zucker; 330 g Bier.

9^h Abds. 100 g Aepfel; 20 g Zucker.

Diese Diät wurde bis zum 13. Nov. fortgesetzt, wo die Speiseordnung nur soweit geändert wurde, dass die Frühstücksrations um 330 g Bier vermehrt, dagegen 20 g Zucker fortgelassen, und dass das Apfelcompot um 12^h Mittags und 6^h Abds. genossen wurde.

Da bei dieser täglichen Kost das Körpergewicht die Neigung zeigte, abzunehmen — am 5. Nov. betrug es 65.5 kg, am 15. Nov. 64.3 kg — so wurde die Nahrung am 15. Nov. um 50 g Zucker vermehrt, worauf sich das Körpergewicht ziemlich constant erhielt (am 8. Dec. 63.8 kg).

Vom 22. bis 25. Nov. incl. wurde die Kost um 1 Ei vermehrt (10^h Vm.), während die Zuckerportion um 20 g vermindert wurde (Ser. II).

Vom 27. Nov. bis 2. Dec.¹ bestand die Kost (Ser. III) aus:

10^h Vorm. etwa 500 g Ei (10 Stück); 150 g Kartoffeln; 30 g Butter; 330 g Bier und 200 g Aepfel.

4^h Nachm. 300 g Kartoffeln; 60 g Butter; 330 g Bier.

6^h Abends. 200 g Aepfel und 100 g Zucker.

Vom 3. bis zum 8. Dec. incl. (Serie IV) wurde verzehrt:

10^h Vorm. etwa 400 g Ei (8 Stück); 400 g nicht abgerahmte Milch; 50 g Brod (schwedisches Spisbröd); 100 g fetter Käse.

4^h Nachm. 50 g Brod; 30 g Butter; 30 g Käse; 100 g Aepfel; 330 g Bier.

8^h Abends. 200 g Milch; 25 g Brod; 50 g Käse.

¹ Am 26. November war die Diät dieselbe wie vorher mit Zusatz von 5 Eiern zum Frühstück und Herabsetzung der Zuckermenge auf 100 g.

Auf die verschiedenen Nährstoffe, wie Eiweiss, Fett, Kohlehydrate, Alkohol vertheilt, stellt sich die Kost folgendermaassen:¹

Tabelle I.

Zeit	Eiweiss g	Fett g	Kohlehydrate g	Alkohol g	Calorien
Serie I (5. bis 21. November).					
10 ^h Vm.	9.1	50.5	194.1	10.2	
5 Nm.	9.4	50.5	194.1	10.2	
Summa:	18.5	101.0	388.2	20.4	2750

Serie II (22. bis 25. November).

10 ^h Vm.	15.8	55.4	184.0	10.2	
4 Nm.	8.6	50.5	78.6	10.2	
6 Ab.	0.6	—	110.4	—	
Summa:	25.0	105.9	368.0	20.4	2739

Serie III (26. November bis 2. December).

10 ^h Vm.	71.7	74.9	63.1	10.2	
4 Nm.	8.6	50.5	73.6	10.2	
6 Ab.	0.6	—	120.4	—	
Summa:	80.9	125.4	257.1	20.4	2695

Serie IV (3. bis 8. December).

10 ^h Vm.	102.8	83.7	48.0	—	
4 Nm.	18.2	34.8	50.8	10.2	
8 Ab.	24.8	22.0	24.0	—	
Summa:	145.8	140.0	122.8	10.2	2473

Die Harnsäure wurde nach Ludwig-Salkowski² und durch Wägung im sog. Ludwig'schen Filter bestimmt. N-Analysen wurden nach Kjeldahl ausgeführt und die Phosphorsäure im Harn durch Titiren mit Uranacetat.³ — Zur Harnsäurebestimmung wurden 100 oder 200^{cem} Urin genommen, zu den N-Analysen 5^{cem} und zu den Phosphorsäurebestimmungen 50^{cem}.

Gleich nach der ersten Mahlzeit (10^h Vorm.) wurden die Leukocyten gezählt, und 3 bis 4 Stunden nach derselben zum zweiten Mal. Die Zählung geschah auf die übliche Weise nach Verdünnung des Blutes mit 0.3 proc.

¹ Alle Speiseanalysen sind vom Verfasser selbst ausgeführt worden.

² Siehe Huppert, *Anleitung zur qualitat. u. quantitat. Analyse des Harns*. 1898. S. 820.

³ Ebenda S. 731.

Essigsäurelösung in der Thoma-Zeiss'schen Rechenkammer, wo alle Quadrate durchgezählt wurden. Jedes Mal wurden wenigstens zwei Präparate gezählt (in zwei verschiedenen Zählkammern). Wenn die Differenz 7 bis 8 Blutkörperchen überstieg (Verdünnung 1:20), so wurde die Zählung erneuert. Die Blutproben wurden an der Fingerspitze genommen, nach vorheriger Desinficirung derselben mit Karbolsäurelösung und Aether. Durch ganz leichtes Drücken auf den Finger wurden die Blutstropfen herausgebracht. Zugleich wurden auch Ausstreichpräparate angefertigt, welche jedoch bis auf Weiteres noch nicht untersucht werden konnten.

In folgender Tabelle über den ersten Theil des Versuches sind die N-, P_2O_5 - und Harnsäuremengen für 24 Stunden zusammengestellt, sowie die Anzahl der Leukocyten kurz vor und 3 bis 4 Stunden nach der ersten Mahlzeit.

Tabelle II.

Zeit	Harn					Anzahl weisser Blutkörperchen			
	Menge in 24 Stdn. ccm	Specif. Gew.	N g	Harn- säure g	P_2O_5 g	Kurz vor der Mahlzeit	3—4 Stund. nach der Mahlzeit	Differenz	Differenz in Procenten
Oct. 31.	2050	1.010	16.20	0.9017	2.255	7800	11000	+ 3200	+ 41
Nov. 1.	960	1.025	16.32	0.9209	2.490	6900	9300	+ 2400	+ 35
„ 2.	930	1.026	16.65	0.9367	2.325	6000	11000	+ 5000	+ 83
„ 3.	—	—	—	—	—	6600	9700	+ 3100	+ 47
„ 4.	850	1.027	16.15	1.0091	2.380	5900	7500	+ 1600	+ 28

Serie I.

Nov. 5.	770	1.015	10.01	0.3070	1.463	6300	6800	+ 500	+ 8
„ 6.	1100	1.009	6.93	0.4971	1.540	7800	6300	- 1500	- 20
„ 7.	420	1.020	3.99	0.3540	1.092	7500	7800	+ 300	+ 4
„ 8.	760	1.010	4.33	0.4418	1.140	8500	7500	- 1000	- 12
„ 9.	700	1.014	3.71	0.3853	1.141	5300	5600	+ 300	+ 6
„ 10.	500	1.020	3.15	0.4033	1.120	6600	5900	- 700	- 11
„ 11.	470	1.024	3.08	0.4273	0.953	6700	7200	+ 500	+ 7
„ 12.	750	1.014	3.30	0.4232	1.066	7200	9100	+ 1900	+ 26
„ 13.	1060	1.010	3.71	0.4543	0.978	4400	5300	+ 900	+ 21
„ 14.	680	1.013	3.13	0.4275	1.040	5000	5300	+ 300	+ 6
„ 15.	660	1.013	3.58	0.4742	1.068	—	8100	—	—
„ 16.	910	1.009	3.19	0.4272	1.019	7800	6000	- 1800	- 23
„ 17.	780	1.013	2.96	0.4975	0.952	5900	5900	0	0
„ 18.	800	1.012	3.04	0.4408	0.944	7600	7600	0	0
„ 19.	940	1.010	3.01	0.4683	0.874	6300	7200	+ 900	+ 14
„ 20.	1040	1.007	2.91	0.4555	0.998	5300	5900	+ 600	+ 11
„ 21.	500	1.020	2.75	0.4825	0.810	7200	8500	+ 1300	+ 19

Tabelle II. (Fortsetzung.)

Zeit	Harn					Anzahl weisser Blutkörperchen			
	Menge in 24 Stdn.	Specif. Gew.	N	Harn- säure	P ₂ O ₅	Kurz vor der Mahlzeit	8—4 Stund. nach der Mahlzeit	Differenz	Differenz in Procenten
	ccm		g	g	g				

Serie II.

Nov. 22.	680	1.014	2.99	0.4673	0.884	6600	6300	- 300	- 5
„ 23.	780	1.013	3.12	0.4572	0.866	5300	7500	+ 200	+ 4
„ 24.	710	1.014	2.98	0.4470	0.994	5400	6600	+ 1200	+ 22
„ 25.	880	1.013	3.17	0.4244	1.188	4800	6000	+ 1200	+ 26

Serie III.

Nov. 26.	890	1.016	4.22	0.4288	1.486	4800	7000	+ 2200	+ 46
„ 27.	1090	1.013	6.33	0.4043	2.017	5800	7400	+ 1600	+ 28
„ 28.	1000	1.015	8.20	0.4273	2.070	3800	7200	+ 3400	+ 89
„ 29.	730	1.020	8.76	0.4191	2.223	4600	6200	+ 1600	+ 35
„ 30.	860	1.020	10.49	0.4384	2.236	6000	6000	0	0
Dec. 1.	1000	1.011	9.36	0.4598	2.050	5200	5800	+ 600	+ 12
„ 2.	920	1.018	9.66	0.5151	2.190	6200	6800	+ 600	+ 10

Serie IV.

Dec. 3.	780	1.026	14.12	0.5359	2.519	4800	7200	+ 2400	+ 50
„ 4.	900	1.026	19.35	0.4297	3.204	4600	7600	+ 3000	+ 65
„ 5.	920	1.026	20.98	0.4588	3.275	6400	8400	+ 2000	+ 31
„ 6.	940	1.026	21.06	0.4775	3.205	5800	8600	+ 2800	+ 48
„ 7.	920	1.026	20.70	—	3.284	5200	8200	+ 3000	+ 58
„ 8.	960	1.025	20.74	0.4896	3.274	4800	6200	+ 1400	+ 30

In der ersten Versuchsreihe (5. bis 21. November) befand ich mich weder im N-Gleichgewicht, noch im P₂O₅-Gleichgewicht. In der zweiten Serie (22. bis 25. November) trat nahezu N-Gleichgewicht ein, während sich P₂O₅-Gleichgewicht nicht vorfand.

In den folgenden Serien erlangte ich nicht allein völliges N- und Phosphorgleichgewicht, sondern lagerte sowohl N- als phosphorhaltige Substanz ab.

Folgende Tabelle giebt die N- und Phosphorausgaben des Körpers im Durchschnitt pro Tag der einzelnen Serien¹ wieder.

¹ In Bezug auf nähere Einzelheiten wird auf den Aufsatz über den Stoffwechselversuch verwiesen, der in nächster Zeit veröffentlicht werden soll.

Tabelle III.

Serie	N im Harn	N in den Fäces	N im Harn u. Fäces	N in der Kost	Bilanz	P ₂ O ₅ im Harn	P ₂ O ₅ in d. Fäces	P ₂ O ₅ im Harn und Fäces	P ₂ O ₅ in d. Kost	Bilanz
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
I (17 Tage)	3.93	1.25	5.18	2.83	-2.35	0.999	0.677	1.676	1.023	-0.653
II (4 Tage)	3.07	1.23	4.30	4.02	-0.28	0.983	0.828	1.811	1.464	-0.347
III (7 Tage)	8.15	2.34	10.49	12.56	+2.07	2.039	1.046	3.545	3.545	+0.460
IV (6 Tage)	19.49	2.12	21.61	22.63	+1.02	3.127	3.624	6.751	7.148	+0.397

Da die Harnsäuremenge für den Tag sich trotz der verschiedenen Kost und speciell trotz der variirenden Eiweissmenge in derselben so gut wie constant erhielt, so war es von Interesse, zu erfahren, wie diese Harnsäuremenge, welche augenscheinlich unabhängig von der Nahrung producirt wurde, aus dem Organismus ausgeschieden wurde.

Der Versuch wurde daher so fortgesetzt, dass die Kost nicht verändert, sondern wie in Serie IV beibehalten wurde.

Vom 9. bis zum 14. December wurden aufgenommen:

11^h Vm.: 8 Eier; 400^g Milch; 50^g Brod; 100^g Käse; 330^g Bier; und

5^h Nm.: 50^g Brod; 30^g Butter; 100^g Käse und 200^g Milch.

Die Harnsäure wurde in verschiedenen Perioden für den Tag bestimmt. Diese Perioden wurden so gewählt, dass die erste Periode die Zeit von 8 bis 11^h Vm. umfasste, wo ich in Bewegung war, aber noch keine Nahrung eingenommen hatte. Die folgenden Perioden umfassten die Zeit der lebhaftesten Digestionsarbeit — von 11^h Vm. bis 3^h Nm., von 3 bis 5^h Nm. und von 5 bis 10^h Abds.; die letzte Periode, die Nacht — von 10^h Abds. bis 8^h Vm. —, oder die Zeit, wo ich mich in Ruhe befand.

In der folgenden Tabelle (s. S. 129) sind die Mengen Harnsäure, welche in diesen Perioden ausgeschieden wurden, dargestellt, und ist zugleich der Uebersicht wegen in der letzten Columnne die Harnsäuremenge pro Stunde für jede Periode berechnet (Ser. V).

Die Fortsetzung des Versuches ist gleichfalls in derselben Tabelle wiedergegeben.

Da sich in der V. Versuchsreihe durchgehend zeigte, dass die Harnsäuremenge in der Nacht am geringsten war, aber bedeutend grösser in der ersten Periode (8 bis 11^h Vm.), so beschloss ich, den Versuch so zu variiren, dass ich unter Beibehaltung derselben Diät mich abwechselnd in der Nacht in Bewegung erhielt und am Tage zu schlafen versuchte. Die Menge der Nahrung und die Speisestunden variirten jedoch ein wenig, was aus der Tabelle näher hervorgeht (Ser. VI).

Der Zweck war, zu erforschen, ob die Harnsäureausscheidung in irgend einem Verhältniss zur Muskelthätigkeit steht.

In den beiden letzten Serien (VII und VIII) untersuchte ich wieder den Einfluss der Nahrung auf die Harnsäureausscheidung.

Da ich bei gewöhnlicher Kost, mit reichlich Fleisch in der Nahrung, täglich im Durchschnitt 0.9419^g Harnsäure ausschied, die Harnsäuremenge sich dagegen in allen folgenden Versuchsserien etwa um die Hälfte niedriger stellte, obgleich der Eiweissgehalt bedeutend variirte und beispielsweise in Ser. IV die Eiweissmenge bei gewöhnlicher Kost bedeutend überstieg, so war es höchst wahrscheinlich, dass der Unterschied der Harnsäuremengen von der Fleischdiät und höchst wahrscheinlich von den Extractivstoffen des Fleisches abhing.

Wäre diese Annahme richtig, so müsste natürlich gewöhnliche Bouillon die Harnsäureausscheidung vermehren.

Die Versuchsanordnung war also gegeben. Der früheren Kost wurde eine bestimmte Quantität Bouillon hinzugefügt.

Um zu zeigen, dass wahrscheinlich gerade die Extractivstoffe die Steigerung verursachten und nicht die Leimstoffe, welche Annahme schon a priori selbstverständlich schien, wurde vor der Bouillonperiode eine Versuchsreihe von drei Tagen (Ser. VII) eingeschaltet, in welcher ich zur früheren Kost noch Weingelée verzehrte. Das Weingelée wurde aus 27^g Gelatinetafeln, in Wasser mit einem Zusatz von Wein gelöst, zubereitet, so dass die Gesamtmenge an Weingelée 2680^g betrug. Von dieser werden in drei Tagen im Ganzen 1650^g verzehrt. Erst nachdem es sich gezeigt hatte, dass keine Vermehrung der Harnsäure stattfand, wurde zur Bouillon übergegangen (nebst Eiern, Brod, Butter, Käse, Milch, Bier). Dieselbe wurde derart zubereitet, dass 4^{kg} Fleisch in kleinere Stücke geschnitten wurden, die mit Wasser mehrere Stunden gekocht wurden. Daraus wurden 2750^{ccm} starke Bouillon erzielt, die in drei Tagen verzehrt wurde.

Schliesslich wurde wieder drei Tage lang bei gewöhnlicher Kost die Harnsäuremenge bestimmt.

Folgende Tabelle giebt den letzten Theil des Versuches wieder.

Tabelle IV.

Zeit		Harnmenge	Harnsäure		Bemerkungen
Datum	Stunde		In der Periode	per Stunde	
		ccm	g	g	

Serie V.

Dec. 9.	8—11	68	0.0614	0.0205
	11—3.20	150	0.1289	0.0295
	3.20—5.20	110	0.0495	0.0248
	5.20—9	156	0.0626	0.0174
	9—8	330	0.0759	0.0069
			0.8783	
„ 10.	8—11	100	0.0649	0.0216
	11—3	145	0.0943	0.0236
	3—5	138	0.0399	0.0200
	5—10	270	0.1084	0.0217
	10—8	230	0.1073	0.0107
			0.4148	
„ 11.	8—11	95	0.0747	0.0249
	11—8	145	0.1109	0.0277
	3—5	112	0.0573	0.0287
	5—10	240	0.1080	0.0216
	10—8	310	0.0654	0.0065
			0.4163	
„ 12.	8—11	80	0.0710	0.0237
	11—5	250	0.1755	0.0293
	5—10	270	0.0845	0.0169
	10—8	296	0.1403	0.0140
			0.4713	
„ 13.	8—11	96	0.0713	0.0237
	11—3	135	0.1076	0.0269
	3—5	110	0.0495	0.0248
	5—10	285	—	—
	10—8	294	0.1620	0.0262

Tabelle IV. (Fortsetzung.)

Zeit		Harnmenge ccm	Harnsäure		Bemerkungen
Datum	Stunde		in der Periode	per Stunde	
Serie VI.					
Dec. 14.	8—11	86	0.0785	0.0262	Gewöhnlicher Arbeitstag. 11 ^h Vm. 7 Eier, 400 ^g Milch, 50 ^g Brod, 100 ^g Käse. — 5 ^h Nm. 50 ^g Brod, 30 ^g Butter, 100 ^g Käse, 330 ^g Bier, 200 ^g Milch, 1 Ei. Schlaf von 10 ^h Abds. bis 8 ^h Vm.
	11—5	270	0.1612	0.0269	
	5—10	250	0.1250	0.0250	
	10—8	322	0.1298	0.0180	
			0.4945		
„ 15.	8—11	114	0.0552	0.0184	Den ganzen Tag zu Bette gelegen. 11 ^h Vm. 400 ^g Milch, 8 Eier, 50 ^g Brod, 100 ^g Käse. — 5 ^h Abds. 330 ^g Bier, 25 ^g Brod, 50 ^g Käse, 200 ^g Milch. Schlaf von 12 ^h Abds. bis 7 ^h Vm.
	11—5	237	0.1429	0.0238	
	5—10	278	0.0854	0.0171	
	10—8	250	0.0610	0.0061	
			0.8445		
„ 16.	8—11	65	0.0665	0.0222	Gewöhnlicher Arbeitstag. 11 ^h Vm. 400 ^g Milch, 5 Eier, 50 ^g Brod, 100 ^g Käse. — 5 ^h Nm. 50 ^g Brod, 30 ^g Butter, 100 ^g Käse, 200 ^g Milch, 330 ^g Bier, 4 Birnen und 2 Äpfel. Die ganze Nacht bis 5 ^h früh in Bewegung.
	11—5.30	196	0.1715	0.0264	
	5.30—10	196	0.0700	0.0156	
	10—5	274	0.1302	0.0180	
	(Nacht)		0.4382		
„ 17.	5—1.30	196	0.1354	0.0158	Schlaf von 5 bis 10 ^h Vm. Den ganzen Tag zu Bette gelegen. 1 ^h 30' Nm. 400 ^g Milch, 7 Eier, 25 ^g Brod, 50 ^g Käse. — 6 ^h 30' Abds. 200 ^g Milch, 330 ^g Bier, 25 ^g Brod, 15 ^g Butter, 50 ^g Käse. Schlaf von 5 bis 8 ^h Vm.
	1.30—6.30	160	0.1307	0.0261	
	6.30—1	222	0.1252	0.0192	
	1—8	160	0.0962	0.0137	
			0.4875		
„ 18.	8—11	63	—	—	Gewöhnlicher Arbeitstag. 11 ^h Vm. 400 ^g Milch, 100 ^g Käse, 50 ^g Brod, 5 Eier, 1 Apfel. — 5 ^h Nm. 50 ^g Brod, 30 ^g But- ter, 100 ^g Käse, 200 ^g Milch, 3 Eier, 330 ^g Bier, 1 Apfel. Bis 3 ^h Morg. in Bewegung, darauf Schlaf, bis 8 ^h Vm.
	11—5	188	0.0775	0.0129	
	5—10	225	0.1233	0.0247	
	10—3	240	0.0852	0.0170	
	3—8	115	0.0720	0.0144	
„ 19.	8—12	105	0.1062	0.0266	Dieselbe Kost wie am 18. Dec. Bis 12 ^h Mittags zu Bette gelegen. Schlaf von 10 ^h bis 8 ^h Vm.
	12—5	180	0.1422	0.0284	
	5—10	—	—	—	
	10—8	260	0.2261	0.0126	
	(Nacht)				

Tabelle IV. Serie VI. (Fortsetzung.)

Zeit		Harnmenge	Harnsäure		Bemerkungen
			in der Periode	per Stunde	
Datum	Stunde	ccm	g	g	
Dec. 20.	8—11	80	0.0502	0.0167	Gewöhnlicher Arbeitstag. Dieselbe Kost wie am 19. Dec. In Bewegung bis 1 ^h Nachts. Schlaf von 1 ^h Nachts bis 8 ^h Vm.
	11—5	275	0.1711	0.0285	
	5—10	283	0.1302	0.0260	
	10—1	110	0.0595	0.0198	
	1—8	195	0.0785	0.0112	
			0.4896		
„ 21.	8—12	132	0.0927	0.0232	Zu Bette gelegen bis 12 ^h Mittags. 12 ^h 6 Eier, 20 ^g Brod, 400 ^g Milch. — 5 ^h Nm. 600 ^g Milch, 3 Eier, 50 ^g Brod, 50 ^g Butter. Schlaf von 10 ^h Abds. bis 8 ^h Vm.
	12—5	230	0.1258	0.0252	
	5—10	212	0.1128	0.0226	
	10—8	265	0.1269	0.0127	
			0.4582		

Serie VII.

Dec. 22.	8—11	120	0.0768	0.0256	11 ^h Vm. 40 ^g Brod, 10 ^g Butter, 5 Eier, 400 ^g Milch, 650 ^g Weingelée. — 3 ^h Nm. ein Bad (finnische Badstube). — 5 ^h Abds. 40 ^g Brod, 20 ^g Butter, 100 ^g Käse, 330 ^g Bier, 3 Eier. — 8 ^h 30' Abds. 200 ^g Milch. Schlaf von 11 ^h Abds. bis 8 ^h Vm.
	11—5	295	0.0974	0.0162	
	5—11	210	0.1040	0.0173	
	11—8	210	0.1191	0.0132	
			0.3973		
„ 23.	8—11	60	0.0612	0.0204	500 ^g Weingelée, sonst dieselbe Diät. Schlaf von 10 ^h Abds. bis 8 ^h Vm.
	11—5	230	0.1465	0.0244	
	5—10	218	0.1007	0.0201	
	10—8	230	0.0660	0.0066	
			0.3744		
„ 24.	8—11	75	0.0525	0.0075	9 ^h Vm. 1 Butterbrod. — 11 ^h Vm. 40 ^g Brod, 100 ^g Käse, 5 Eier, 400 ^g Milch, 250 ^g Weingelée. — 3 ^h Nm. 250 ^g Weingelée. — 4 ^h Nm. 400 ^g Milch, 330 ^g Bier, 30 ^g Brod, 20 ^g Butter. — 8 ^h Abds. 400 ^g Birnen. Schlaf von 10 ^h Abds. bis 8 ^h Vm. Aus Versehen wurde der Urin von 8 bis 11 ^h Vm. (den 25. Dec.) mit dem Nachturine vermengt.
	11—4.30	198	0.1133	0.0206	
	4.30—11	440	0.2442	0.0132	
	(27 Stunden)		0.4100		

Tabelle IV. (Fortsetzung.)

Zeit		Harnmenge ccm	Harnsäure		Bemerkungen
Datum	Stunde		in der	per	
			Periode	Stunde	
Serie VIII.					
Dec. 25.	11—5	253	0.2151	0.0359	11 ^h Vm. 50 ^g Brod, 100 ^g Käse, 5 Eier, 200 ^g Milch, 500 ^g Bouillon. — 5 ^h Nm. 40 ^g Brod, 30 ^g Butter, 50 ^g Käse, 2 Eier, 330 ^g Bier, 250 ^g Bouil- lon. — 9 ^h Abds. 400 ^g Milch, 200 ^g Aepfel. Schlaf von 11 ^h Abds. bis 8 ^h Vm.
	5—11	260	0.1872	0.0312	
	11—8	196	0.1088	0.0121	
	(21 Stunden)		0.5111		
„ 26.	8—11	60	0.0625	0.0208	11 ^h Vm. 4 Eier, 20 ^g Brod, 10 ^g Butter, 500 ^g Bouillon. — 5 ^h Nm. 30 ^g Brod, 20 ^g Butter, 50 ^g Käse, 3 Eier, 330 ^g Bier, 500 ^g Bouillon. Schlaf von 10 ^h Abds. bis 8 ^h Vm.
	11—5	404	0.3454	0.0576	
	5—10	240	0.2496	0.0499	
	10—8	200	0.2100	0.0210	
			0.8675		
„ 27.	8—11	110	0.0919	0.0306	11 ^h Vm. 30 ^g Brod, 20 ^g Butter, 50 ^g Käse, 5 Eier, 500 ^g Bouil- lon. — 5 ^h Abds. 30 ^g Brod, 10 ^g Butter, 30 ^g Käse, 3 Eier, 330 ^g Bier, 500 ^g Bouillon. Schlaf von 10 ^h Abds. bis 8 ^h Vm.
	11—5	380	0.3268	0.0545	
	5—10	515	0.3152	0.0630	
	10—8	224	0.2083	0.0208	
			0.9422		
„ 28.	8—8	1370	0.7083	—	Gewöhnliche Kost.
„ 29.	8—8	580	0.7250	—	„ „
„ 30.	8—8	1050	0.8820	—	„ „

Es sei schliesslich noch hervorgehoben, dass ich mich die ganze Zeit während des Versuches völlig wohl befand.

In dem gleichzeitig ausgeführten Stoffwechselversuche wurden sowohl die Einnahmen als Ausgaben an N, S, P₂O₅ und CaO analysirt. An gewissen Tagen wurde auch die CO₂-Ausscheidung für den Tag bestimmt. In Folge der Masse von Analysen, die ich in verhältnissmässig kurzer Zeit auszuführen genöthigt war, war es mir nicht möglich, dieses Mal die Einwirkung anderer Nahrungsmittel auf die Harnsäureausscheidung zu prüfen. Es dürfte kaum nöthig sein, zu betonen, dass derartige Untersuchungen noch weiterhin nothwendig sind.

Die Abhängigkeit der Harnsäurebildung von der Nahrung.

Unter den Factors, welche mit Sicherheit auf die Harnsäurebildung einwirken, nimmt die Nahrung unzweifelhaft einen sehr hervorragenden Raum ein. Schon vor langer Zeit fand man, dass animalische Kost die Harnsäurebildung verstärkt, vegetabilische dagegen sie vermindert. Die Zahlen, welche von Herrmann, Bunge u. A. angeführt werden, sind in dieser Hinsicht völlig charakteristisch.

In letzterer Zeit wollte man jedoch den Einfluss der Nahrung auf die Harnsäurebildung in nicht geringem Grade reduciren. So betont z. B. v. Noorden in seinem Lehrbuche, dass individuelle Verschiedenheiten eine weit grössere Rolle spielen, als die Diät.

Die Ursache dieser Reaction lässt sich theilweise auf das Auftreten von Kossel und Horbaczewski in der Frage über die Abstammung der Alloxurbasen zurückführen. Nachdem Kossel durch seine bekannten Untersuchungen gezeigt hatte, dass die Alloxurbasen nicht aus dem Eiweiss stammten, sondern aus Nucleinsäure, zeigte Horbaczewski, und nach ihm mehrere andere Forscher, dass auch im Thierorganismus die Harnsäure mit grosser Wahrscheinlichkeit aus den Kernen der Gewebe und — wie Horbaczewski zu beweisen suchte — speciell aus denen der weissen Blutkörperchen stammte.

Nach Horbaczewski würden die Nahrungsmittel nur in dem Maasse einen Einfluss auf die Harnsäurebildung im Organismus haben, als sie auf diese Elemente einwirken.

Es ist klar, dass bei dieser Auffassung der directe Einfluss der Kost auf die Harnsäurebildung gleich Null wird.

Es ist jedoch noch bei Weitem nicht bewiesen, dass die Nahrung nur indirect von Bedeutung wäre.

Bis auf Weiteres ist die Harnsäurelitteratur relativ arm an exacten Untersuchungen über diesen Theil der Frage, und man kann sagen, dass erst in letzter Zeit die Einwirkung gewisser einzelner Nahrungsstoffe auf die Harnsäurebildung — meist von rein therapeutischem Gesichtspunkte aus — untersucht worden ist.

Nimmt man die zu rein experimentellem Zwecke ausgeführten Versuche mit nucleinreichem Material (Thymus, Milz, Leber u. s. w.) aus, so sind es in erster Reihe unsere gewöhnlichsten eiweissreichen Nahrungsstoffe (Fleisch, Eier, Milch u. a. m.), welche Gegenstand der Untersuchung geworden sind.

Es ist auch selbstverständlich, dass das Eiweiss in der Nahrung von speciellm Interesse sein muss. Auch wenn man die Harnsäure nicht mehr für ein directes Stoffwechselproduct des Eiweisses ansehen

kann, so muss man doch zugeben, dass, wenn man sich auf den Standpunkt der Horbaczewski'schen Theorie stellt, das Eiweiss in der Nahrung wenigstens indirect auf die Harnsäurebildung einwirken muss. Diese Auffassung macht sich auch bei den meisten Verfassern geltend.

Eine gewisse Begriffsverwirrung scheint sich in der Litteratur eingeschlichen zu haben, indem eine eiweissreiche Kost als gleichbedeutend mit einer animalischen oder reinen Fleischdiät aufgefasst wird, und vegetabilische Kost mit einer eiweissarmen. Die Worte „Eiweiss“ und „Fleisch“ werden häufig von den Experimentatoren (s. z. B. Orgler und Rosenfeld)¹ als Synonymé angewandt.

Ich weiss nicht, ob es eine Folge dieses mangelhaften Ausdrucks ist, oder ob es aus völliger Ueberzeugung und im Anschlusse an die Horbaczewski'sche Theorie geschieht, dass noch häufig die Ansicht hervorgehoben wird, das Eiweiss in der Nahrung wirke in hohem Grade auf die Harnsäureausscheidung ein.

In unseren gewöhnlichsten Lehrbüchern (Hammarsten,² Bunge)³ macht sich nämlich diese Auffassung geltend.

In einer monographischen Arbeit schreibt auch Luff⁴ z. B. Folgendes: „Es ist wahr, dass auf die Aufnahme sehr grosser Mengen von Eiweiss eine vermehrte Production von Harnsäure folgt und vice versa, aber augenscheinlich macht es nur wenig oder keinen Unterschied, ob das Eiweiss animalischen oder vegetabilischen Ursprunges ist. Der einzige Grund, weshalb eine vegetabilische Nahrung weniger Harnsäure erzeugt, als eine animalische, liegt in der Thatsache, dass die erstere ärmer an Eiweiss ist.“

Wie unrichtig die Auffassung thatsächlich ist und wie streng man zwischen einer eiweissreichen und einer fleischreichen Diät unterscheiden muss, hoffe ich weiterhin zeigen zu können.

Es wurde oben hervorgehoben, dass v. Noorden und Andere individuellen Verschiedenheiten eine grössere Bedeutung für die Bildung von Harnsäure zuschreiben, als der Nahrung. Dieser Auffassung huldigen auch die meisten Forscher. Camerer⁵ dagegen opponirt bestimmt gegen diese Ansicht.

Prüft man die Versuche in der Litteratur näher, so wird man häufig finden, dass die den individuellen Verschiedenheiten zugeschrie-

¹ Orgler und Rosenfeld, *Centralbl. f. innere Med.* 1896. S. 42.

² Hammarsten, *Lehrb. d. phys. Chemie.* 1899. S. 438.

³ Bunge, *Lehrb. d. phys. u. path. Chemie.* 1898. S. 325.

⁴ Luff, *Die Gicht.* Uebersetzung. 1900. S. 45.

⁵ Camerer, *Zeitschr. f. Biol.* 1896. Bd. XXXIII. S. 139.

benen Differenzen keineswegs ihre Ursache hierin zu haben brauchen, sondern eher der Versuchsanordnung zugeschrieben werden können.

In einer Arbeit aus dem Jahre 1899 kommen beispielsweise Schreiber und Waldvogel¹ zu dem Schlusse: „Bei der durch die Nahrung gelieferten Harnsäuremenge spielen individuelle Verhältnisse eine gewisse Rolle“, weil zwei Personen, welche genau dieselbe Kost erhalten und sich in denselben äusseren Verhältnissen befinden, verschiedene Mengen Harnsäure ausscheiden. Nun giebt aber die eine Person im Harn 3 bis 4^g N mehr aus als die andere, ein Umstand, der darauf hindeutet, dass sich diese beiden Versuchspersonen doch nicht in gleichen Verhältnissen befunden hatten. Unter solchen Umständen von individuellen Verschiedenheiten in der Harnsäureproduction zu sprechen, scheint mir nicht richtig. Ebenso gut hätte man ja sagen können, dass der N-Wechsel dieser beiden Versuchspersonen auf individuellen Abweichungen beruhte.

Es sieht also aus, als ob die Bedeutung der Nahrung für die Harnsäurebildung durch v. Noorden und A. etwas unterschätzt worden ist.

Aus meinem Versuche geht im Gegentheil hervor, dass die Harnsäureausscheidung sehr wesentlich durch die Nahrung beeinflusst werden kann. Eine vergleichende Untersuchung an anderen Personen war ich gleichwohl nicht in der Lage auszuführen, so dass ich mich eigentlich nicht aus eigener Erfahrung über die individuellen Verhältnisse äussern kann; aber wenn man bei derselben Person durch Aenderung der Diät so stark auf die Harnsäureausscheidung einwirken kann, wie in meinem Versuche, so scheint mir a priori die Ansicht Camerer's plausibler als die v. Noorden's.

Wie oben hervorgehoben, wollte ich in meinem Versuche feststellen, in welchem Grade das Eiweiss in der Nahrung auf die Harnsäureausscheidung einwirke.

In einer Untersuchung von Rosenfeld und Orgler,² die — wie sie selbst hervorgehoben — bezweckte, den Einfluss des Eiweissumsatzes zu untersuchen, fanden sie, dass eine Vermehrung der Eiweisszufuhr eine bedeutende Vermehrung der Harnsäureausscheidung verursacht. Der Versuch war so angeordnet, dass eine Person nach zwei Hungertagen variirende Mengen Fleisch erhielt. Beim Hungern wurden im Durchschnitt 0.480^g Harnsäure ausgeschieden, nach dem Verzehren von 600^g Fleisch 0.809, nach 700^g Fleisch 0.758^g und nach 1650^g Fleisch 1.230^g Harnsäure.

¹ Waldvogel, *Arch. f. exper. Path. u. Pharm.* 1899. Bd. XLII. S. 69.

² Rosenfeld und Orgler, *Centralbl. f. inn. Med.* 1896. S. 42.

Der Versuch beweist jedoch nicht, dass die Vermehrung der Eiweissmenge in der Nahrung die Harnsäuremenge vermehrt.

Nach den Untersuchungen von Strauss und Eitner scheint es nämlich höchst unwahrscheinlich, dass es die Extractivstoffe des Fleisches sind, welche bei der Fleischdiät die Harnsäuresteigerung verursachen; und es heben diese Verfasser hervor, dass es nicht wohl einzusehen sei, weshalb das Eiweiss im Fleische sich gegenüber der Harnsäurebildung anders verhalten solle, als beispielsweise das Eiweiss in Eiern, Aleuronat und Kasein, welche Nahrungsstoffe nach den Untersuchungen von Hess, Smoll, Levy u. A. kaum eine Wirkung auf die Harnsäurebildung ausübten.

Auch aus meinen Versuchen geht unzweifelhaft hervor, dass es die Extractivstoffe sind, welche bei der Fleischdiät die Harnsäuremenge erhöhen.

Bei gewöhnlicher Kost (mit Fleisch in der Nahrung) schied ich im Mittel pro Tag (3 Tage) 0.7717^g Harnsäure aus (Tab. IV S. 183) und bei Vermehrung der Fleischmenge in der Nahrung 0.9419^g (Tab. II S. 126).

Mit Ausnahme der beiden letzten Serien (VII und VIII) lebte ich während des Versuches ausschliesslich von Kartoffeln, Butter, Brod (schwedischem Spisbröd), fettem Käse, Eiern, Milch, Aepfeln und Bier. Als ich von gewöhnlicher Kost (mit Fleisch) zur Nahrung in Serie I (s. S. 126) überging, sank die Harnsäuremenge unmittelbar von 1.0091^g auf 0.3070^g und betrug in der ersten Versuchsserie (17 Tage) durchschnittlich pro Tag 0.4333^g.

In folgender Tabelle ist die Menge der verschiedenen Nahrungsstoffe und die Harnausscheidung pro Tag für die vier ersten Versuchsserien zusammengestellt.

Tabelle V.

Serie	Eiweiss in Gramm			Fett	C-Hydrat	Alkohol	Harnsäure
	Animal.	Vegetab.	Summa				
				g	g	g	g
I	1.5	17.0	18.5	101.0	374.3	20.4	0.4333
II	8.1	16.9	25.0	106.0	368.1	20.4	0.4489
III	67.1	13.9	81.0	125.4	275.2	20.4	0.4415
IV	125.3	20.1	145.4	139.9	122.8	10.2	0.4788

Aus dieser Tabelle geht ohne Weiteres hervor, dass die Eiweissmenge der Nahrung nicht auf die Harnsäureausscheidung

einwirkt. In Serie I mit äusserst niedrigem Eiweissgehalt in der Nahrung — nur 18.5 g — beträgt die Harnsäureausscheidung 0.4333 g. und erhält sich um diesen geringen Werth herum, obgleich die Eiweissmenge bis auf 145.4 g erhöht wurde, wovon nicht weniger als 86 Proc. animalisches Eiweiss sind.

Auch von den Schwankungen der Kohlehydratmengen scheint die Harnsäurebildung keinen Einfluss zu erfahren. Mit 379.3 g C-Hydrat (Ser. I) in der Nahrung wurde 0.4333 g Harnsäure ausgeschieden, mit 122.8 g C-Hydrat 0.4783 g.

In Bezug auf das Fett lassen sich aus meinen Versuchen keine zuverlässigen Schlüsse ziehen, da die Variationen der Fettmenge zu klein sind.

Aus den Untersuchungen von Herrmann, Horbaczewski und Camerer scheint jedoch mit grosser Wahrscheinlichkeit hervorzugehen, dass das Fett an und für sich keine Rolle bei der Harnsäurebildung spielt. Doch wären nähere Untersuchungen in dieser Sache wünschenswerth, da Rosenfeld und Orgler in späteren Versuchen eine Steigerung der Harnsäureausscheidung bei Vermehrung der Fettmenge in der Nahrung zu finden glaubten.

Wenn also der Eiweissgehalt der Nahrung garnicht auf die Harnsäureausscheidung influirt, so ist es ja höchst wahrscheinlich, dass die Ursache der grossen Harnsäuremengen bei der Fleischdiät in den Extractivstoffen des Fleisches zu suchen ist. Durch das Hinzufügen gewöhnlicher Bouillon zur früheren Kost konnte ich mich mit Leichtigkeit von der Richtigkeit dieser Voraussetzung überzeugen.

Um aber völlig sicher zu sein, dass es nicht die Leimstoffe in der Bouillon sind, welche die Vermehrung erzeugen, so verzehrte ich kurz vor der Bouillonserie (VIII) drei Tage lang ausser der vorigen Kost 500 g Weingelée täglich (Ser. VII S. 132). Wie sich vermuthen liess, trat durchaus keine Vermehrung, sondern eher eine Verminderung der Harnsäureausscheidung ein.¹

Als ich nach dieser Serie die Kost um 1000 g Bouillon täglich vermehrte, stieg die Harnsäureausscheidung unmittelbar von 0.3439 g auf 0.7902 g (die Mittelzahl der letzten Serie, s. Näheres Tab. IV S. 130 bis 133).

Mit ziemlich grosser Wahrscheinlichkeit dürfte man behaupten

¹ Am ersten Tage dieser Serie nahm ich ein heisses Dampfbad („finnische Badstube“). Eine Steigerung der Harnsäureproduction, welche man (Formanek) nach heissen Bädern finden wollte, konnte ich nicht bemerken (s. Tab. IV S. 132).

können, dass es die Purinbasen in der Bouillon sind, welche die Steigerung hervorrufen.

Kürzlich ist es Sundwik¹ und Fischer² geglückt, im Reagensglase Xantin in Harnsäure überzuführen, und umgekehrt, und Minkowsky³ gelang es, bei Verzehrung von Hypoxantin eine Vermehrung der Harnsäureproduction im menschlichen Organismus hervorzurufen.

Um einen Begriff über die Menge der Purinbasen in der Bouillon zu erhalten, welche ich verzehrte, wurden dieselben durch Fällung mit einer Magnesiummischung und ammoniakalischen Silberlösung bestimmt; im Niederschlage wurde die N-Menge nach Kjeldahl bestimmt, nachdem das Ammoniak sorgfältig ausgewaschen und der Niederschlag schliesslich mit Magnesia und Wasser gekocht worden war.

In der Bouillon, welche 0.45 Proc. N enthielt, fand ich 0.052 Proc. Purinbasen N (das Mittel von zwei Analysen 0.050 und 0.053). Von diesem N fanden sich in den 3 Bouillontagen also nur etwa 25 Proc. als Harnsäurestickstoff wieder. Leider wurden in dieser Serie nicht die übrigen Alloxurverbindungen im Harn bestimmt.

Was in meinem Versuche augenfällig hervortritt, ist der Umstand, dass die Kost, wenn sie nicht Fleisch oder Bouillon, oder mit anderen Worten die Extractivstoffe des Fleisches enthält, durchaus keinen Einfluss auf die Harnsäureausscheidung ausübt. Diese hält sich für jeden Tag hartnäckig um denselben Werth, unabhängig von den Veränderungen der Diät und unabhängig davon, ob die Kost viel oder wenig Eiweiss enthält.

Sobald aber die Extractivstoffe des Fleisches in der Kost vorhanden sind, wird die Harnsäureausscheidung unmittelbar vermehrt.

Es scheint daher, als ob ein Theil der Harnsäure, welche bei gewöhnlicher Diät (mit Fleisch) ausgeschieden wird, direct aus den Purinbasen des Fleisches herstammte, während ein anderer Theil völlig unabhängig von der Nahrung wäre und wahrscheinlich mit einem vitalen Prozess im Organismus selbst in Verbindung steht.

Wir haben also zwei verschiedene Quellen für die Harnsäurebildung, einerseits die Nahrung, und andererseits die eigenen Zellen des Organismus.

¹ Sundwik, *Zeitsch. f. phys. Chem.* Bd. XXIII. S. 476 u. Bd. XXVI. S. 131.

² Fischer, *Ber. d. chem. Gesellsch.* Bd. XVII. S. 329 u. Bd. XXXII. S. 434.

³ Minkowsky, *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* 1898. Bd. XLI. S. 403.

Im Folgenden werde ich versuchen, näher auf diese Fragen einzugehen.

Bevor ich dieses Kapitel schliesse, will ich auf ein Detail des Versuches hinweisen.

Bunge¹ hat behauptet, dass Käse ein besonders schädliches Nahrungsmittel für Gichtiker wäre, da „der Käsestoff bei seiner Verbrennung im Organismus grosse Mengen Harnsäure, Schwefelsäure und Phosphorsäure liefert“. Dass diese Angabe unrichtig ist, geht aus meinem Versuche hervor. In einigen Serien (IV, V und VI) verzehrte ich nicht geringe Mengen Käse, bis 200 g täglich, ohne die geringste Einwirkung auf die Harnsäureausscheidung, welche sich genau so verhielt, wie in den Serien I, II und III, wo der Speisezettel keinen Käse enthielt.

Die Beziehungen der Leukocyten zur Harnsäurebildung.

Unter den Theorien über die Harnsäurebildung hat unzweifelhaft die von Horbacewski die grösste Aufmerksamkeit erregt und die meisten Anhänger gewonnen, besonders unter den Klinikern. Diese Theorie ist es auch, welche in den gewöhnlichen Handbüchern als die wahrscheinlichste hervorgehoben wird.

Horbaczewski² geht — bekanntlich — von der Ansicht aus, dass, während die Gewebe des Organismus im Allgemeinen eine auffallend lange Persistenz zeigen, dies bei den Leukocyten nicht der Fall sei, welche „zweifelloso einem raschen Wechsel unterliegen“. „Es ist bekannt“ — schreibt Horbaczewski — „dass die Nahrungs-(Fleisch-)Aufnahme eine bedeutende Vermehrung derselben im Blute — eine sog. Verdauungsleukocytose — veranlasst, und dass schon wenige Stunden nach der Nahrungsaufnahme dieselben aus dem Blute verschwinden. Die Schicksale dieser aus dem Kreislaufe verschwundenen Leukocyten sind nicht näher bekannt; es dürfte aber keinem Zweifel unterliegen, dass dieselben in den Geweben zu Grunde gehen und dass die Zerfallsproducte derselben offenbar als Nährmateriale für die Gewebe dienen. Unter diesen Zerfallsproducten muss aber auch das Leukocytennuclein und die Zersetzungsproducte desselben auftreten, die aber zur Bildung der Harnsäure, bezw. der Xantinbasen beitragen können.“

¹ Bunge, *Lehrb. d. physiol. u. pathol. Chemie.* 1896. S. 399.

² Horbaczewski, *Sitzungsber. d. Acad. d. Wissensch.* Wien 1891. Bd. C. S. 78.

Auf Grund zahlreicher Experimente, welche alle diese Annahme stützen, ist Horbaczewski schliesslich der Ansicht, dass die Harnsäure ausschliesslich aus zerfallenden Leukocyten her stammt. So ansprechend auch diese Theorie zu sein scheint, so besitzen wir doch für dieselbe thatsächlich sehr wenig positive Stützen, und gegen die Experimente Horbaczewski's und nach ihm anderer Forscher lassen sich mancherlei Einwände vorbringen. Ich werde später auf diese Versuche zurückkommen.

Wie es scheint, beruht die Theorie Horbaczewski's ganz und gar auf der Annahme, dass die Leukocyten im Blute unaufhörlich neu gebildet werden und zerfallen.

Für die Richtigkeit dieser Annahme besitzen wir jedoch, wie mehrere Verfasser hervorheben, noch recht wenig zwingende Gründe. Untersuchungen darüber, ob normaliter eine Leukolyse vorkommt oder nicht, sind leider äusserst spärlich.

Während sich in leukämischem Blute mit Leichtigkeit Degenerationszeichen an den Leukocyten nachweisen lassen, so fehlen nach Gumprecht¹ im normalen Blute die Degenerationsformen „fast ganz“.

In nahem Zusammenhange mit der Frage über das Vorkommen oder Nichtvorkommen der Leukolyse steht die Frage über die Leukocytose, und zunächst, wo es sich um physiologische Verhältnisse handelt, die Digestionsleukocytose.

Hofmeister's Ansicht über die Rolle der Leukocyten bei der Eiweissresorption hat durch Pohl's bekannte Untersuchungen an Thieren einen gewissen Grad von Wahrscheinlichkeit erlangt.

Dass es sich beim Menschen ebenso verhält, dafür sprechen die Untersuchungen mehrer Autoren (Jaksch, Limbeck, Rieder u. A.).

Gleichwohl scheint die Frage über das Vorkommen der Digestionsleukocytose beim Menschen nicht definitiv entschieden. In einer Arbeit vom Jahre 1897 betont nämlich Bruhn-Fähraeus,² dass sich auch bei hungernden Personen (einen Tag lang untersucht) im Laufe des Tages gleich grosse Unterschiede in der Anzahl der Leukocyten nachweisen lassen, wie bei Personen, die eine Probemahlzeit verzehrt haben.

Aus diesem Grunde hält Bruhn-Fähraeus es für völlig unbefugt, der Nahrung die Vermehrung der Leukocyten nach einer Mahlzeit zuzuschreiben.

Selbstverständlich können ja aber Versuche an Menschen nicht so

¹ Gumprecht, *Verhandl. d. Congr. f. inn. Med.* 1896. S. 317.

² Bruhn-Fähraeus, *Klinische Studien über die Zahl d. weissen Zellen im menschl. Blute.* *Nord. med. Ark.* 1897. S. 46.

rein sein wie Thierexperimente, so dass bei den ersteren mehr unregelmässige Resultate zu erwarten sind, als bei den letzteren. Zieht man ferner in Betracht, dass die ganze Methodik der Leukocytenuntersuchung recht mangelhaft ist, da beispielsweise der Wahrscheinlichkeitsfehler bei der Rechnung in günstigen Fällen sich auf etwa 10 Proc. beläuft, so ist einzusehen, dass die Resultate recht veränderlich sein müssen. Aus Versuchen, die nur einen Tag gedauert haben, kann man daher eigentlich keine weitgehenden Schlüsse ziehen, sondern man ist gezwungen —, so gut es sich thun lässt — die Mängel der Methodik durch zahlreiche Beobachtungen zu compensiren.

Wie aus der Tabelle auf S. 126 hervorgeht, wechselte in meinem Versuche bei völlig gleicher Kost die Anzahl der Leukocyten vor und nach der Mahlzeit an den verschiedenen Tagen der betr. Serien recht stark. Gleichwohl aber findet man, dass die Zusammensetzung der Nahrung deutlich von Bedeutung war für das Entstehen einer Leukocytose.

Dieses geht aus folgender Tabelle hervor, wo die Eiweissmenge der Nahrung und die Vermehrung der Leukocytenanzahl, als Mitte der betr. Serien berechnet, zusammengestellt sind.

Tabelle VI.

Serie	Eiweis in der Kost (Frühstück)	Leukocytdiff. in Proc. 3 bis 4 Stdn. nach der Mahlzeit		
		Mittelz. f. d. ganze Serie	Maximum	Minimum
	s			
Gewöhnl. Kost (5 Tage)	—	+ 47	+ 83	+ 28
I (17 Tage)	9.12	+ 3	+ 26	— 23
II (4 Tage)	15.75	+ 12	+ 26	— 5
III (7 Tage)	71.69	+ 32	+ 89	± 0
IV (6 Tage)	102.31	+ 47	+ 65	+ 30

Nach eiweissarmer Kost (Ser. I und II) ist die Vermehrung der Anzahl der Leukocyten unbedeutend (3 und 12 Proc.) und fällt innerhalb der Fehlergrenzen bei der Rechnung. Dagegen ist sie nach einer eiweissreichen Mahlzeit (Ser. III und IV) unverkennbar.

Mein Versuch spricht somit für die Hofmeister'sche Theorie. Da ich also in Ser. III und IV nach eiweissreicher Mahlzeit eine deut-

liche Leukocytose nachweisen konnte, so musste nach der Theorie Horbaczewski's auch die Ausscheidung von Harnsäure in diesen Serien für den Tag grösser sein als in Ser. I und II, wo deutlich ein geringerer Leukocytenzerfall stattfand. Es trat jedoch nichts Derartiges ein, sondern die Harnsäureproduction erhielt sich in allen diesen vier Versuchsserien so gut wie constant. Dies zeigt ein Blick auf die Tab. II S. 126.

Dieser Versuch steht also völlig im Widerspruche mit Horbaczewski's Untersuchung über die Digestionsleukocytose und die Harnsäure; diese Ungleichheit findet aber ihre Erklärung in der Art, in welcher Horbaczewski seinen Versuch¹ angeordnet, hat.

Nach einem 18stündigen Fasten gab Horbaczewski fünf jungen Männern eine reichliche Fleischmahlzeit (400 bis 500^g Fleisch) und fand 4 bis 5 Stunden darauf eine bedeutende Vermehrung sowohl der Leukocytenzahl, als der Harnsäure. Am nächsten Tage erhielten dieselben Personen nach ebenso langem Fasten vegetabilische Kost (Reis nach Belieben, 40^g Butter, 250^g Brod und 1 Liter Bier). Einige der Versuchspersonen zeigten eine relativ hohe Leukocytose, andere nicht; bei den ersteren fand eine grössere Steigerung der Harnsäuremenge über den Hungerwerth statt, bei den letzteren eine geringere. Die Gesammtmenge an Harnsäure war jedoch bei der vegetabilischen Kost bedeutend geringer, als bei der Fleischdiät. „Diese Thatsache“ — schreibt Horbaczewski — „steht in bester Uebereinstimmung mit der Vorstellung, dass die Harnsäure in der Hauptsache aus den Leukocyten entsteht.“

Nun wurde aber die Harnsäure in der Fastenzeit am zweiten Tage nicht bestimmt, sondern Horbaczewski nahm an, dass sie ebenso gross sei, wie am Tage vorher. Diese Unterlassung macht, dass dem Versuche keine Beweiskraft zugemessen werden kann. Schon aus den Untersuchungen Marès'² weiss man nämlich, dass die Harnsäureausscheidung bei demselben Individuum an verschiedenen Hungertagen nicht gleich verläuft, wenngleich die Gesammtmenge für den Hungertag sich constant verhält.

Aus Marès' Tabellen ersieht man, dass dieselbe Person, welche z. B. an einem Tage in 12 bis 15 Fastenstunden 0.0391^g Harnsäure ausscheidet, an einem anderen Tage in derselben Zeit 0.0552^g ausscheidet, an einem dritten 0.0286^g u. s. w.

¹ l. c. S. 94.

² Marès, Sur l'origine de l'acide urique chez l'homme. *Archives sures de biol.* 1887. S. 208.

Da die Vermehrung der Harnsäureausscheidung in den Horbaczewski'schen Versuchen bei vegetabilischer Kost nicht mehr betrug als 19 bis 94 Proc. über dem angenommenen Hungerwerthe, so wird seine Berechnung der Harnsäurevermehrung völlig unsicher.

Ferner war die Wahl von Fleisch als eiweissreiches Nahrungsmittel höchst unglücklich, wo es darauf ankam, ein Verhältniss zwischen der Digestionsleukocytose und der Ausscheidung von Harnsäure zu finden. Denn wie oben hervorgehoben, veranlassen schon die Purinbasen im Fleische durch directe Oxydation eine Vermehrung der Harnsäureausscheidung, weshalb ein Vergleich zwischen den verschiedenen Tagen in Horbaczewski's Versuch nicht stattfinden kann.

Da, wie oben hervorgehoben, diese ganze Theorie auf der noch unbewiesenen Annahme eines Leukocytenzerfalles auch unter normalen Verhältnissen beruht, da Horbaczewski's eigene Versuche bei Weitem nicht beweisend sind, und da ein Zusammenhang zwischen der normalen Verdauungsleukocytose und der Harnsäureproduction sich nicht nachweisen lässt, so ist es höchst unwahrscheinlich, dass die Harnsäure unter normalen Verhältnissen aus den Nucleinstoffen¹ der Leukocyten gebildet wird. Es ist daher nothwendig, nach anderen Erklärungsgründen für die Harnsäurebildung zu suchen.

Ueber die Quellen der Harnsäurebildung.

Wie aus dem Vorhergehenden hervorgeht, können die Leukocyten nicht als einzige und hauptsächlichste Quelle der Harnsäurebildung angesehen werden, wenigstens nicht unter normalen Verhältnissen. Gegen die Horbaczewski'sche Theorie hob Camerer hervor, „dass beim ernährten Menschen die ausgeschiedene Harnsäure und die Xantinkörper aus zwei Quellen stammen: sowohl aus zerfallenden Zellen des Körpers, als auch aus zugeführtem Nuclein, ohne dass freilich über die Menge, welche jede der Quellen liefert, Genaueres anzugeben

¹ Es lässt sich natürlich nicht verneinen, dass die Leukocyten eine Quelle der Harnsäure sein können. Wegen ihres hohen Nucleingehaltes ist dieses sogar recht wahrscheinlich. In gewissen krankhaften Zuständen, wo eine starke Vermehrung und nachweisbar auch ein starker Zerfall weisser Blutkörperchen stattfindet, wie bei der Leukämie, ist es ja höchst wahrscheinlich, dass die starke Ausscheidung von Harnsäure, zum grossen Theil wenigstens, der Leukolyse zuzuschreiben ist. — Ganz anders aber gestaltet sich die Sache unter normalen Verhältnissen.

wäre.“¹ Aehnlichen Ansichten huldigen Schreiber² und Minkowski.³

Auch mein Versuch spricht dafür, dass wir zwei Quellen für die Harnsäurebildung besitzen: die eine die Nahrung, die andere die eigenen Zellen des Organismus.

Wie schon früher hervorgehoben wurde, ist es eine recht bemerkenswerthe Thatsache, dass die tägliche Harnsäureausscheidung in meinem Versuche in den Serien I bis VII (vom 5. Nov. bis 24. Dec.), trotz der bedeutenden Verschiedenheiten in der Diät, sich um denselben relativ niedrigen Werth erhält. Im Durchschnitt schied ich in dieser Zeit pro Tag 0.4395^g Harnsäure aus; das Maximum betrug 0.5359^g (Ser. III den 2. Dec.), das Minimum 0.3070^g (Ser. I den 5. Nov.).

Da diese Harnsäuremenge völlig unabhängig von der Kost gebildet wurde, muss sie also aus dem Organismus selbst stammen. Hierfür spricht auch der Umstand, dass die Harnsäureausscheidung im Laufe des Tages unabhängig von den Mahlzeiten verläuft.

In Ser. V schied ich von 8 bis 11 Uhr Vorm., als ich noch keine Speise zu mir genommen hatte, pro Stunde durchschnittlich 0.0229^g aus; von 11 Uhr Vorm. bis 3 Uhr Nachm. 0.0274^g, und von 3 bis 5 Uhr Nachm., d. h. 5 bis 6 Stunden nach der Speisenaufnahme, also zur Zeit, wo die Harnsäureausscheidung nach einer gewöhnlichen Mahlzeit ihr Maximum erreicht, 0.0255^g (s. Näheres Tab. VIII S. 148). Wie wir sehen, höchst unbedeutende Steigerungen nach den Mahlzeiten! Nach dem Mittagmahle um 5 Uhr Nachm. findet sich sogar eine kleine Verminderung der Harnsäureproduction.

Bei völligem Hungern findet man ebenso grosse und grössere Schwankungen in der Harnsäureausscheidung im Laufe des Tages (Marès),⁴ weshalb in meinem Versuche die Nahrung nicht gut eine Rolle bei der Harnsäurebildung spielen konnte.

Wenn man also mit ziemlicher Sicherheit behaupten kann, dass diese Harnsäuremenge nicht von der Nahrung abhing, so scheint ebenso sicher, dass ein grosser Theil der Harnsäuremenge, welche ich bei gewöhnlicher Kost (mit Fleisch) ausschied, aus der Nahrung und vor Allem aus den Extractivstoffen des Fleisches herstammte.

¹ Camerer, *Zeitschr. f. Biol.* 1896. Bd. XXXIII. S. 145.

² Schreiber, Ueber die Harnsäure. 1899. S. 85.

³ Minkowski, Ueber Leukämie und Leukocytose. *Sep.-Abdr. aus den Verhandl. d. XVII. Congr. f. inn. Med.* 1899. S. 166.

⁴ Marès, *Arch. slov. de biol.* 1887. Bd. XIII. S. 208.

Nach dem Genuss von Bouillon in Ser. VIII stieg die Harnsäureproduction bedeutend und rasch (s. Tab. IV S. 133). Am zweiten und dritten Tage der Serie betrug die Harnsäuremenge vor der Mahlzeit 0.0208, bzw. 0.0306^s pro Stunde und nach derselben 0.0576, bzw. 0.0545^s pro Stunde.

Wie die Versuche Marès' zeigen, hat Fleisch dieselbe Wirkung. Folgende kleine, der Abhandlung Marès¹ entnommene Tabelle veranschaulicht besonders deutlich die Steigerung der Harnsäureausscheidung nach dem Genusse von Fleisch.

Tabelle VII.

Zeit 1897 VIII./2.	N im Harn g	Harnsäure im Harn g	Bemerkungen
6—7 ^a	0.534	0.0238	9 ^h 1 ^{te} Fleisch
7—8	0.559	0.0219	
8—9	0.462	0.0190	
9—10	0.421	0.0240	
10—11	0.546	0.0465	
11—12	0.760	0.0739	
12—1	0.933	0.0739	
1—2	1.261	0.0831	
2—3	1.394	0.0730	
3—4	1.479	0.0700	
4—5	1.494	0.0675	
5—6	1.433	0.0598	
6—7	1.305	0.0454	
7—8	1.132	0.0346	
8—9	0.944	0.0240	

Die Tabelle zeigt ferner, dass das Maximum der Harnsäureausscheidung viel schneller erreicht wird — schon in der 5. Stunde nach der Mahlzeit —, als das Maximum der N-Ausscheidung, welches erst in der 8. Stunde eintritt. Marès wollte auf Grund dieses Verhaltens die Hypothese aufstellen, dass die Harnsäurebildung auf „moleculären Veränderungen im Zellen- und speciell dem Drüsenzellenprotoplasma“ beruhe. Da man jedoch nunmehr weiss, dass die Extractivstoffe des Fleisches allein die Harnsäureausscheidung bedeutend und ziemlich rasch vermehren, so ist wohl die Erklärung richtiger, dass es gerade

¹ Marès, *Arch. slov. de biol.* 1887. Bd. XIII. S. 206.

diese Stoffe im Fleische sind, welche die rasche Vermehrung verursachen, indem sie direct zu Harnsäure oxydirt werden, ohne organisirt zu werden.¹ Hierfür spricht ihre chemische Constitution und die relativ rasche Ausscheidung.

Es braucht kaum betont zu werden, dass ausser Fleisch gewiss auch andere Nahrungsmittel gleich demselben zur Steigerung der Harnsäure beitragen können. Doch fehlen hierüber genauere Untersuchungen fast ganz.

Von den beiden verschiedenen Quellen der Harnsäurebildung, Nahrung und Organismus selbst, interessirt uns besonders die letztere.

Man fragt sich, durch welchen vitalen Prozess die Harnsäuremenge gebildet wird, welche aus dem Organismus selbst her stammt.

Nach den Untersuchungen Kossel's wäre zunächst daran zu denken, dass die Harnsäure aus dem Nucleinstoffe der Zellkerne erzeugt wurde, wodurch die Harnsäure (wie überhaupt die Purinbasen) als ein Stoffwechselproduct innerhalb des Zellkernes selbst anzusehen wäre.

Ob der Zellkern der einzige Herd der Harnsäurebildung ist, und ob dieser Prozess in alle Zellen des Organismus zu verlegen ist, oder nur in einen Theil desselben, das sind Fragen, die noch immer ihrer Lösung harren. Ebenso müssen wir gestehen, dass wir noch so gut wie nichts über die vitalen Prozesse wissen, durch welche die Harnsäure unter normalen Verhältnissen gebildet wird.

Ich kann jedoch nicht unterlassen, einen Umstand aus meinem Versuche hervorzuheben, der vielleicht eine Andeutung darüber geben kann, wo wir möglicher Weise eine Ursache zur Bildung dieser von der Nahrung unabhängigen Harnsäure zu suchen haben.

Wie früher hervorgehoben, suchte ich in Ser. V und VI zu erforschen, in welchem Grade die Harnsäuremenge von der Muskel- und Digestionsarbeit abhängig sei.

Ueber die Bedeutung der Muskelarbeit für die Harnsäurebildung überhaupt finden sich in der Litteratur keine genaueren Untersuchungen. Die von Laval, Herter und Schmidt, Kolisch u. A. sind auf eine Weise angeordnet, dass schwerlich zuverlässige Schlüsse aus ihnen gezogen werden können.

Wie aus Tab. VIII über Ser. V hervorgeht, zeigte es sich constant, dass die Harnsäureausscheidung in der Nacht bedeutend geringer war, als am Tage.

¹ Minkowski, *Verhandl. d. XVII. Congr. f. inn. Med.* S. 166.

Tabelle VIII.

Datum	Harnsäureausscheidung pro Stunde					Bemerkungen
	8-11 ^h Vm.	11 ^h Vm. bis 3 ^h Nm.	3-5 ^h Nm.	5-10 ^h Abds.	10 ^h Abds. 8 ^h Vm.	
9. Dec.	0.0205	0.0295	0.0248	0.0174	0.0069	Speisestunden 11 ^h Vm. und 5 ^h Nm.
10. „	0.0216	0.0236	0.0200	0.0217	0.0107	
11. „	0.0249	0.0277	0.0287	0.0216	0.0065	Schlaf von 10 ^h Abds. bis 8 ^h Vm.
12. „	0.0237	0.0293	0.0293	0.0169	0.0140	
13. „	0.0237	0.0269	0.0248	—	0.0162	
Mittelz.:	0.0229	0.0274	0.0255	0.0194	0.0109	

Durchschnittlich schied ich in der Nacht 0.0109^g aus, und am Tage vor Aufnahme jeglicher Nahrung 0.0229^g Harnsäure pro Stunde.

Während der Zeit der lebhaftesten Verdauungsarbeit ist die Harnsäureausscheidung theils grösser, theils geringer, als während der Zeit, wo keine derartige Arbeit stattfindet; daher sieht es so aus, als ob die Digestionsarbeit keinen Einfluss auf die Harnsäurebildung ausübe.

Der bedeutende Unterschied (etwa 100 Proc.) zwischen der Harnsäureproduction am Tage und in der Nacht kann wahrscheinlich nicht auf Ungleichheiten der Harnsecretion während des Tages und während der Nacht beruhen. Wir wissen, dass die N-Ausscheidung im Schlafen und Wachen¹ ziemlich gleichmässig vor sich geht. In diesem Punkte sind jedoch weitere Untersuchungen nöthig und hoffe ich, in einer späteren Abhandlung auf diesen Gegenstand zurückkommen zu können.

Da die Drüsenarbeit die Harnsäurebildung nicht zu verstärken scheint, so ist zunächst daran zu denken, dass der Unterschied in der Harnsäureproduction während des Tages und der Nacht auf dem Unterschiede der Muskelthätigkeit während der Bewegung und der Ruhe beruhte. Ich will nicht bestreiten, dass man sich hier auch andere Möglichkeiten denken kann, aber es kann wohl kaum verneint werden, dass in erster Linie an die Muskelthätigkeit zu denken ist.

Um eine Vorstellung hierüber zu erhalten, versuchte ich in Ser. VI in der Nacht zu arbeiten und am Tage zu schlafen. Doch war es mir unmöglich, dieses consequent durchzuführen. Da ich an

¹ Vgl. J. E. Johansson, E. Landergren, K. Sondén und R. Tigerstedt, Beiträge zur Kenntniss des Stoffwechsels beim hungernden Menschen. *Dieses Archiv*. 1895. S. 78.

eine derartige Lebensweise nicht gewöhnt war, schlief ich schlecht und fühlte mich in dieser Zeit recht müde. Diese Serie giebt auch kein klares Bild des Zusammenhanges über die Harnsäureproduction während Ruhe und Arbeit. Wie aus Tab. IV S. 131. hervorgeht, findet man aber doch fast regelmässig, dass die niedrigsten Werthe der Harnsäureausscheidung mit den Zeiten des Schlafes zusammenfallen.

Auf Grund nur dieses Materiales kann ich natürlich nicht behaupten, dass die Harnsäurebildung im Zusammenhange mit der Muskelarbeit steht, aber immerhin kann nicht verneint werden, dass mein Versuch dies in einem gewissen Grade wahrscheinlich macht.

Ich wollte jedenfalls auf diesen Umstand in meinem Versuche hinweisen, weil er einen Fingerzeig über den Weg giebt, welcher vielleicht bei der Erforschung des Problems über die Harnsäurebildung zu betreten ist.

Schliesslich ist es mir eine liebe Pflicht, Hrn. Prof. R. Tigerstedt den Ausdruck meiner Dankbarkeit darzubringen für die Zuvorkommenheit, mit welcher er mir Gelegenheit gab, in seinem Laboratorium zu arbeiten, und für die ausserordentliche Liberalität, mit welcher er mir die nöthigen Utensilien zur Verfügung stellte.

Nachschrift.

Es war meine Absicht, nach Abschluss auch der Versuche über den Zusammenhang zwischen der Muskelthätigkeit und Harnsäureproduction, mit denen ich augenblicklich beschäftigt bin, in diesem Archiv im Zusammenhange meine Untersuchungen über die Harnsäurebildung unter normalen Verhältnissen zu veröffentlichen.

Den Bericht über den ersten Theil dieser Untersuchungen, der im April dieses Jahres in den „Verhandlungen der Gesellschaft Finnischer Aerzte“ (*Finska läkaresällskapets handlingar*)¹ erschien, betrachtete ich mehr als eine vorläufige Mittheilung. — Inzwischen ist eine besonders verdienstvolle und interessante Arbeit über die Stellung der Purinkörper im menschlichen Stoffwechsel, von Burian und Schur,² zu Tage getreten. Da die Resultate Burian's und

¹ V. O.'Sivén, Bidrag till kännedom om urinsyrebildningen inom den mänskliga organismen under fysiologiska förhållanden. *Finska läkaresällskapets handlingar*. 1900. Bd. XLII. Heft 4.

² Burian und Schur, Ueber die Stellung der Purinkörper im menschlichen Stoffwechsel. *Pflüger's Archiv*. 1900. Bd. LXXX. S. 241.

Schur's mit den meinen äusserst gut übereinstimmen, so schien mir Grund vorhanden, meinen ersten Plan aufzugeben und meine bisherigen Untersuchungen schon jetzt deutsch zu veröffentlichen. Diese Abhandlung bildet nur eine Uebersetzung meines Aufsatzes in „Finska läkaresällskapets handlingar“.

Bei der Veröffentlichung der Fortsetzung meiner Untersuchungen hoffe ich Gelegenheit zu haben, auf die werthvolle Arbeit von Burian und Schur, wie auch auf eine Abhandlung von Loewi¹ über denselben Gegenstand zurück zu kommen, welche erst in meine Hände gelangte, als obiger Aufsatz schon der Redaction der „Finska läkaresällskapets handlingar“ übergeben war.

¹ Loewi, Beiträge zur Kenntniss des Nucleinstoffwechsels. I. Mittheil. *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* 1900. Bd. 44. S. 1.

Vergleichende Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung des thierischen Fettes.¹

Von

V. Henriques und C. Hansen.

(Aus dem physiologischen Laboratorium der kgl. Hochschule für Veterinärwesen und Landwirthschaft in Kopenhagen.)

Durch zahlreiche Untersuchungen, u. A. von Munk, Rosenfeld und uns,² wurde mit Sicherheit dargethan, dass das Nährfett direct im Körper abgesetzt wird; so haben wir gezeigt, dass man durch Fütterung eines Ferkels mit Leinöl erzielen kann, dass letzteres sich in grosser Menge im Fettgewebe des Thieres ablagert. Diese Ablagerung des Nährfettes findet jedoch nicht auf die Weise statt, dass das Fett überall dieselbe chemische Zusammensetzung erhalte, was daraus zu ershen ist, dass das Fett aus verschiedenen Stellen des Körpers nicht genau dieselbe Zusammensetzung hat. Es ist eine wohlbekannte Sache, dass das Fettgewebe im Oment und um die Nieren festere Consistenz besitzt, als das Fettgewebe unter der Haut, und dass dies auf dem verschiedenen Gehalt an Olein beruht, geht z. B. aus Spaeth's³ Untersuchungen über die Jodzahl und den Schmelzpunkt des aus dem Rückenfett bezw. dem Nierenfett gewonnenen Schweinefettes hervor.

Er fand nämlich folgende Zahlen:

	Schmelzpunkt	Jodzahl
Rückenfett . . .	33.8°	60.55
Nierenfett . . .	43.2	52.60

¹ Der Redaction am 4. September 1900 zugegangen.

² *Oversigt over Det kgl. danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger 1899.*
S. 338 u. f.

³ Citirt nach Benedict: *Analysen der Fette und Wachsarten.*

Mansfeld fand folgende Jodzahlen für Schweinefett:

	Jodzahl
Fett aus der Haut	65.6
Fett aus den Eingeweiden	53.0

Man hat gefunden, dass ganz ähnliche Verhältnisse für das Fett der Kuh gelten; auch hier hat das Hautfett eine höhere Jodzahl und einen niedrigeren Schmelzpunkt als das Omentfett.

Was das Pferd betrifft, so fand man Verschiedenheit der Zusammensetzung bezw. des Mähnenfettes und des Eingeweidefettes. — Analysen des Hundefettes sind von vielen verschiedenen Untersuchern angestellt worden; Rosenfeld fand folgende Zahlen:

	Schmelzpunkt	Jodzahl
Hautfett	48°	47
Omentfett	52	41—42

während Lummert¹ bei 3 Hunden fand:

Hund	Hautfett	Darmfett
I	63.94	60.3
II	66.5	66.3
III	63.3	65.2

Lummert's Zahlen scheinen zunächst dafür zu reden, dass der Unterschied zwischen Hautfett und Eingeweidefett ein sehr geringer ist.

Der Zweck der unten mitgetheilten Untersuchungen war der, zu prüfen, ob die oben erwähnte Verschiedenheit der Zusammensetzung des Fettes aus verschiedenen Theilen des Körpers constant zu finden ist, und ob sich Variationen in grösserem Umfange als die bisher gefundenen nachweisen lassen.

Was die von uns angewandten Methoden betrifft, so gewannen wir das Fett aus dem Fettgewebe auf folgende Weise: Das bis auf etwa 2° abgekühlte Fettgewebe wird in kleine Stücke zerschnitten; diese werden in einem Becherglase angebracht und über dem Wasserbade bis auf 100° erhitzt. Während der Erwärmung wird ein ununterbrochener Kohlensäurestrom in das Glas geleitet, um die Oxydation der nicht gesättigten Fettstoffe (Olein, Linolein u. s. w.) zu vermeiden. Hierauf wird das Fett durch ein Stück Leinwand auf ein Papierfilter gepresst, und das auf diese Weise gewonnene klare, filtrirte Fett wird zur Untersuchung angewandt. Wir bestimmten sowohl die Jodzahl als den Erstarrungspunkt des Fettes.

¹ Pflüger's *Archiv*. Bd. LXX. 1898.

Die Jodzahl wurde mittels der üblichen von v. Hübl angegebenen Methode bestimmt. Der Erstarrungspunkt — der unserer Ansicht nach leichter festzustellen ist als der Schmelzpunkt — wurde folgendermaassen bestimmt (s. Fig. 1):

Das geschmolzene klare Fett wurde in ein Glas (c) gegossen. Durch einen Stöpsel im Glase ging ein metallener Rührer und ein in $\frac{1}{10}^{\circ}$ eingetheiltes Thermometer. Das Glas wurde in einem anderen, als Luftmantel wirkenden Glase (b) angebracht; letzteres befand sich in einem dritten, grösseren Glase (a), das mit Wasser von etwa 16° gefüllt war. Der metallene Rührer wurde mittels eines kleinen Motors in fortwährender Bewegung erhalten. Wir beobachteten nun die Temperatur, bei welcher das Fett unklar zu werden begann; diese Temperatur wurde notirt. Darauf sieht man, dass die Temperatur des Fettes noch mehr sinkt, bis sie nach Verlauf von kurzer Zeit zum Stehen kommt; das Thermometer wird wieder abgelesen. Hierauf sieht man, wie die Temperatur des Fettes zu steigen anfängt, und man beobachtet, bis zu welcher Temperatur das Fett gelangt — auch diese Temperatur wird notirt, worauf die Bestimmung abgeschlossen ist. Wir beobachteten also drei verschiedene Temperaturen, die in den unten mitgetheilten Versuchen verzeichnet sind. Der Erstarrungspunkt ist nach unserer Ansicht bei der zuletzt, nicht aber bei der zuerst abgelesenen Temperatur anzusetzen, da bestimmt wird, wenn man vermuthet, dass eine Fällung beginnt, während die zuletzt abgelesene Temperatur vom Gutachten des Beobachters unabhängig ist.

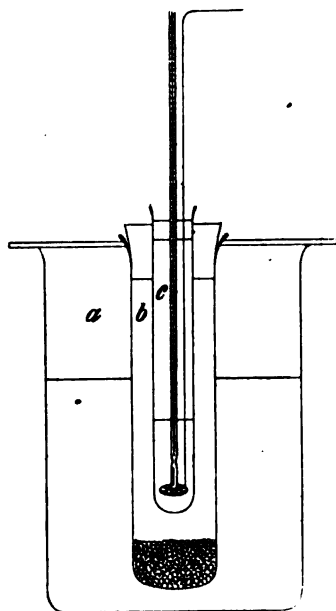


Fig. 1.

Bei den von uns angestellten Versuchen bestimmten wir nur die Erstarrungspunkte für Schweinefett und Kameelfett, theils weil man hier ein deutliches und constantes Steigen der Temperatur gewahrt, nachdem die Ausscheidung fester Fettstoffe begonnen hat, während man beim Fettgewebe der meisten anderen von uns untersuchten Thiere ein solches Steigen entweder gar nicht oder nur in sehr geringem Grade wahrnimmt, und theils weil man, wie es aus den unten

mitgetheilten Zahlen hervorgeht, fast stets finden wird, dass die Aenderungen der Erstarrungspunkte den Aenderungen der Jodzahlen parallel verlaufen; man kann also in der Regel nach den Jodzahlen allein entscheiden, welche von zwei Fettmassen den höchsten Erstarrungs- oder Schmelzpunkt hat.

Das Fett der von uns untersuchten Thiere gab folgende Resultate:

Hundefett	Jodzahl	Schaffett	Jodzahl
Hautfett	82.6	Hautfett	47.3
Nierenfett	81.4	Omentfett	40.7
Omentfett	79.7	Schweinefett	
Gekrösfett	79.9	Hautfett	65.5
Herzfett	79.9	Nierenfett	52.9
		Omentfett	49.3
Pferdefett		Gänsefett	
Mähnenfett	87.6	Hautfett	81.3
Nierenfett	84.7	Intermusc. Fett . .	78.8
Gekrösfett	81.3	Abdominalfett . .	73.7
Ochsenfett		Kameelfett	
Hautfett	51.8	Hautfett	38.7
Gekrösfett	39.8	Omentfett	32.6

Aus den hier angeführten Zahlen geht hervor, dass man bei allen von uns untersuchten Thierformen die grösste Menge Olein im Hautfett findet, und dass die Menge der flüssigen Fettstoffe im Fette allmählich abnimmt, wie wir uns dem wärmsten Theile des Organismus, nämlich dem Abdomen nähern, indem das Nierenfett (oder bei der Gans das intermusculare Fett) eine Jodzahl hat, die zwischen der des Hautfettes und der des Oment- oder Mesenterialfettes liegt.

Wie wir indess sogleich erörtern werden, ist diese Abnahme der Oleinmenge allmählich, wie wir uns dem wärmsten Theile des Körpers nähern, weit entschiedener, als sich aus den angegebenen Zahlen ersehen lässt.

Misst man die Dicke des Hautfettes an der Rückenseite eines Schweines, so wird man je nach dem Alter und dem Ernährungszustande des Thieres sehr verschiedene Maasse finden. Bei einem wohlgenährten Thiere in schlachttauglichem Zustande wird die Dicke der Fettschicht indess etwa 6^{cm} betragen. Diese Fettschicht lässt sich sehr leicht in zwei Theile zertheilen, deren einer, von etwa 2^{cm} Dicke, zwischen der Haut und einer Fascie, der andere, von etwa 4^{cm} Dicke, unter der Fascie liegt.

Wir untersuchten die Jodzahl und den Erstarrungspunkt dieser beiden Schichten an etwa 20 Schweinen und fanden stets, dass die äussere Schicht eine höhere Jodzahl und einen niedrigeren Erstarrungspunkt als die innere hat; als Beispiel werden wir zwei extreme Fälle anführen, einen, in welchem die Jodzahlen (wegen reichlicher Maisfütterung) besonders hoch, einen anderen, in welchem sie (wegen Fütterung mit Gerste) besonders niedrig waren.

	Jodzahl	Erstarrungsp.	Sinken bis	Steigen bis
I. Äussere Fettschicht	57.7	26.4°	25.6°	27.4°
Innere „	53.1	28.2	27.9	29.1
II. Äussere Fettschicht	75.6	22.4	22.3	23.0
Innere „	70.3	24.4	24.2	25.0

Darauf untersuchten wir, ob diese Verschiedenheit der Zusammensetzung sich noch ferner nachweisen liesse, indem wir die äussere und die innere Schicht des Hautfettes durch einen Schnitt \neq der Haut in je zwei Theile zerlegten. Auf diese Weise erhielten wir vier Schichten Hautfett zur Untersuchung, die wir der Vollständigkeit wegen mit dem Nieren- und Omentfette des betreffenden Thieres verglichen. Die vier auf diese Weise untersuchten Schichten des Hautfettes werden unten folgendermaassen (von aussen nach innen genannt) bezeichnet: 1. Die äussere der äusseren Schicht, 2. die innere der äusseren Schicht, 3. die äussere der inneren Schicht, 4. die innere der inneren Schicht; auch hier führen wir ein Beispiel an, wo die Jodzahl des Hautfettes eine niedrige war (Gerstefütterung), und ein anderes, wo die Jodzahl hoch war, indem wir jedoch hinzusetzen, dass wir in einer grossen Anzahl untersuchter Schweine ganz ähnliche Verhältnisse fanden.

I. Gerstefütterung	Jodzahl	Erstarrungsp.	Sinken bis	Steigen bis
Äuss. Schicht d. äuss. Hautf.	60.0	—	—	—
Innere „ „ „ „	57.1	26.4°	25.6°	26.9°
Äuss. „ „ inner. „	51.8	28.0	27.8	28.5
Innere „ „ „ „	50.6	27.7	27.0	28.7
Nierenfett	47.7	29.6	28.1	29.7
Omentfett	46.5	29.4	28.2	29.5

II. Maisfütterung	Jodzahl	Erstarrungsp.	Sinken bis	Steigen bis
Äuss. Schicht d. äuss. Hautf.	72.3	22.8°	22.6°	23.2°
Innere „ „ „ „	70.5	24.1	23.8	24.8
Äuss. „ „ inner. „	65.5	25.7	25.4	26.6
Innere „ „ „ „	64.2	25.6	25.3	26.8
Nierenfett	56.6	28.4	27.0	28.8
Omentfett	56.1	29.1	27.7	29.0

Aus diesen Versuchen geht es mit grosser Deutlichkeit hervor, dass die Zusammensetzung des Fettgewebes verschieden ist, je nachdem dasselbe dicht unter der Haut, oder weit von dieser entfernt liegt. Je näher an der Haut sich das Fett findet, um so grösser ist die Jodzahl und um so niedriger der Erstarrungspunkt. Ist dieses Verhalten nun bei allen Thieren anzutreffen, oder gilt es nur vom Schwein? Die Lösung dieser Frage bietet einige Schwierigkeit dar, weil wir nur bei verhältnissmässig wenigen Thieren eine so reichliche und dicke Schicht Fett unter der Haut finden wie eben beim Schwein. Wir hatten indess die Gelegenheit, an drei Thierformen, deren Hautfett stark entwickelt ist, nämlich am Kameele, am Seehund (*Phoca vitulina*) und am Meerschweine (*Delphinus phocaena*) Untersuchungen über das Fettgewebe anzustellen. Beim Kameel findet sich im Höcker des Thieres eine bedeutende Fettanhäufung, hieraus schnitten wir ein Stück des Fettgewebes und theilten dieses durch Schnitte \perp der Haut in vier Schichten, deren jede für sich untersucht wurde. Das Ergebniss war folgendes:

Schicht	Jodzahl	Erstarrungsp.	Sinken bis	Steigen bis
1.	88.7	84.5°	30.0°	31.7°
2.	87.8	84.5	30.4	32.6
3.	87.2	84.5	30.5	32.5
4.	86.5	85.0	30.8	32.8

Aus diesen Zahlen geht hervor, dass wir beim Kameel ein ganz ähnliches Verhältniss wie das am Schweine nachgewiesene finden. Was ferner den Seehund und den Delphin betrifft, so findet sich bei diesen Thieren fast sämtliches Fett des Körpers unter der Haut abgelagert, wo es eine zusammenhängende, etwa 4 bis 5^{cm} dicke Schicht bildet. Dagegen sind die Nieren gänzlich ohne Fettkapsel, und im Mesenterium sieht man nur einen unbedeutenden feinen Streifen Fett um die Gefässe, an einigen Stellen fehlt dieses Fett sogar ganz. Da diese Thiere im Wasser leben, dessen Wärmeleitungsvermögen so beträchtlich grösser als das der Luft ist, wird es ziemlich verständlich, dass alles überhaupt gebildete oder aufgenommene Fett sich als isolirende Schicht unmittelbar unter der Haut ablagert. Die Haut nebst dem darunter liegenden Fette bildet bei diesen Thieren also gleichsam einen Sack, in welchem sich die Organe vor der Einwirkung der Kälte geschützt befinden.

Die Untersuchung des Fettes dieser Thiere stellten wir auf die Weise an, dass grosse Stücke der Haut mit dem dazu gehörenden Fett aus dem Thiere herausgeschnitten und darauf stark abgekühlt

wurden. Hierauf wurde das Fett mittels eines Messers durch Schnitte \neq der Haut in gleich starke Schichten getheilt. Die Fettschichten wurden darauf unter einem Kohlensäurestrom, wie oben angegeben, erhitzt, und das ausgeschmolzene Fett wurde filtrirt. Alle gewonnenen Proben waren klar, mehr oder weniger gelblich und bei gewöhnlicher Temperatur flüssig; beim Hinstehen schieden einige der Proben feste Fettstoffe aus, welche die Flüssigkeit trübten. Die Untersuchung des Fettes des Seehundes ergab folgende Jodzahlen (I giebt die der Haut zunächst liegende, IV die den Eingeweiden zunächst liegende, II und III die dazwischen liegenden Schichten an):

	Jodzahl		Jodzahl
I . . .	154.2	III . . .	155.0
II . . .	156.5	IV . . .	160.6

Wir finden hier sehr hohe Jodzahlen, was von dem Vorhandensein ähnlicher ungesättigter Fettstoffe wie die im Leberthran befindlichen herrührt; aus diesen Jodzahlen lässt sich deshalb betreffs der Oleinmenge des Fettes durchaus kein Schluss ziehen; übrigens geht es aus den gefundenen Zahlen hervor, dass die Jodbindung in allen vier Proben fast gleich gross ist. Was die Bestimmung der Schmelzpunkte der gewonnenen Fettproben betrifft, so bietet dieselbe so grosse Schwierigkeiten dar, dass wir dafür keine bestimmten Zahlen anzugeben vermochten. Sammelt man indess das Fett aus den vier Schichten in Flaschen von derselben Grösse und Form und bringt diese (bei etwa 3°) in einem Eisschranke an, so wird man nach Verlauf von ein paar Tagen sehen, dass sich in allen auf dem Boden des Glases Krystalle von festem Fett abgesetzt haben (s. Fig. 2). Man sieht hier, dass die Menge der ausgeschiedenen Fettstoffe in der Schicht I am kleinsten, in der Schicht IV am grössten ist. Die Schichten II und III bilden graduelle Uebergänge zwischen I und IV. Dies heisst mit anderen Worten, dass das Fett der Schicht I am leichtesten, das der Schicht IV am schwersten schmilzt, während die Schmelzpunkte der Schichten II und III zwischen denen der Schichten I und IV liegen.



Fig. 2.

Kurz, wir finden hier ganz dieselben Verhältnisse wie beim Schweine: unter der Haut das am leichtesten schmelzbare Fett und

darauf Fett mit immer höheren Schmelzpunkten, je mehr wir uns den centralen Theilen des Thieres nähern.

Was ferner das Fett des Delphins betrifft, so wurden ganz auf dieselbe Weise Fettproben, im Ganzen drei, aus verschiedenen Schichten gewonnen. Ausserdem wurde eine Probe des in der Rückenflosse befindlichen Fettes gewonnen. Die Dicke der gesammten Fettschicht betrug etwa 3^{cm}.

Bei der Section des Thieres fanden wir im Uterus einen, unserem Ermessen nach fast reifen Embryo, dessen Hautfett etwa 1^{cm} dick war, der übrigens aber keine Spur von Fett um innere Organe enthielt. Dieser Embryo wurde ebenso wie das Mutterthier behandelt, das Hautfett wurde aber nur in zwei Schichten zerlegt. Das filtrirte Fett war gelblich und bei gewöhnlicher Temperatur flüssig. Die gefundenen Jodzahlen waren folgende:

Das Mutterthier	Jodzahl
Flossenfett	69.2
I. äusseres Hautfett . . .	57.6
II. mittleres „ . . .	89.5
III. inneres „ . . .	143.1

Der Embryo

I. äusseres Hautfett . . .	65.0
II. inneres „ . . .	71.6

Betrachten wir diese Jodzahlen näher, so erweist es sich, dass wir hier zum ersten Mal den Fall antreffen, dass die Jodzahlen steigen, je weiter wir uns von der Haut entfernen, indem wir beim Mutterthiere die niedrigste Jodzahl (57.6) in der Schicht I und die höchste Jodzahl (143.1) in der Schicht III finden, ganz das Entgegengesetzte also von dem, was wir beim Schweine fanden. Hinsichtlich des Delphinfettes giebt es aber ein Verhältniss, das wir berücksichtigen müssen, nämlich den grossen Gehalt des Fettes an Valerianin.¹

Die Bestimmung der Menge flüchtiger Säuren in den verschiedenen Fettproben ergab folgende Reichelt-Meisel'sche Zahlen:

Das Mutterthier	flüchtige Säuren
Flosse	50.7
I. äusseres Hautfett . . .	98.4
II. mittleres „ . . .	26.5
III. inneres „ . . .	14.5

¹ Siehe u. A. Stenbuch, *Zeitschr. f. angew. Chemie.* 1889. 64.

Der Embryo

I. äusseres Hautfett . . .	22.3
II. inneres „ . . .	14.9

Da nun der Erstarrungspunkt der Valeriansäure um -36° herum liegt, will dies heissen, dass die Schicht I wegen der grossen Menge Valerianin einen tieferen Schmelzpunkt haben muss als die Schicht III mit der verhältnissmässig geringen Menge dieses Fettstoffes unter sonst ganz gleichen Verhältnissen. Wenn die Jodzahlen beim Delphin nun eine Richtung einschlagen, die der beim Schweine gefundenen entgegengesetzt ist, so bedeutet dies mit Bezug auf das Hautfett ganz einfach, dass das Glycerid, welches die Erniedrigung des Schmelzpunktes für die äusseren Fett-schichten bewirkt, keine un-gesättigte Verbindung (Olein), sondern im Gegentheil eine gesättigte Verbindung (Valerianin) ist, deren Zusetzung zu oleinhaltigem Fette gerade ein Sinken der Jodzahl und ein Sinken des Schmelzpunktes hervorrufen muss. Was die Bestimmung der Schmelzpunkte des Delphinfettes be-trifft, so stellten wir diese nicht direct an, sondern wandten dagegen dasselbe Verfahren wie beim Seehundsfette an. Die in gleich grossen, gleich geformten Flaschen angesammelten Proben wurden bei 3° in einem Eisschrank angebracht. Wir fanden nun, dass das Flossenfett und die Schicht I sich völlig klar erhielten, während die Schicht II eine geringe, die Schicht III eine reichhaltigere Fällung fester Fett-stoffe gab (s. Fig. 3); dies bedeutet also, dass der Erstarrungspunkt der verschiedenen Schichten wirklich allmählich steigt, wenn wir uns von der Oberfläche entfernen.



Fig. 3.

Wenn das Flossenfett sich mit Bezug auf die Jodzahl, wie auch auf den Gehalt an flüchtigen Säuren als Zwischenglied zwischen Schicht I und Schicht II verhält, so ist dies ganz erklärlich, da alles Fett der Flosse insgesamt behandelt und nicht in Schichten getheilt wurde. Das in der Flosse befindliche Fett ist deshalb als eine Mischung der Schichten I und II zu betrachten. Die Besprechung des Schmelzpunktes des Fettes aus dem Embryo verschieben wir bis später.

Fassen wir nun in aller Kürze die Resultate der oben erwähnten Untersuchungen zusammen, so werden sie folgende:

Bei allen von uns untersuchten Thieren (Hund, Kuh, Schwein, Schaf, Kameel, Gans, Seehund, Delphin) erwies es sich, dass die chemische Zusammensetzung des Körperfettes sich allmählich verändert, wenn man von der Haut aus der Mitte des Körpers näher rückt; zunächst unter der Haut finden wir das am leichtesten, innerlich das am schwersten schmelzbare Fett, und zwischen diesen beiden Extremen giebt es eine ganze Menge allmählicher Uebergänge.

Fragen wir nun nach der Ursache dieser eigenthümlichen Verschiedenheit der Zusammensetzung des Fettgewebes, so liegt es nahe, an die Temperatur des Gewebes zu denken.

Bekanntlich ist die Temperatur am höchsten in den inneren Organen (Leber, Milz u. s. w.), theils wegen deren Lage, die sie vor Wärmeverlust schützt, theils wegen der lebhaften Verbrennung, die in denselben vorgeht; je mehr wir uns von den centralen Theilen des Körpers entfernen, um so niedriger wird die Temperatur, bis wir in der Haut zur niedrigsten Temperatur gelangen.

Von einem teleologischen Standpunkte aus würde dieses Verhalten sehr gut mit den von uns gewonnenen Resultaten zusammenpassen; man sieht nämlich leicht, dass die niedrigste Temperatur mit dem tiefsten Schmelzpunkte des Fettgewebes zusammentrifft, während umgekehrt die hohe Temperatur dem Fette mit hohem Schmelzpunkt entspricht; das Zweckmässige besteht also darin, dass die Consistenz des Fettgewebes überall dieselbe sein kann.

Um eine Vorstellung davon zu bekommen, von welchen Unterschieden der Temperatur des Fettgewebes in grösserer oder geringerer Entfernung von der Oberfläche der Haut die Rede sein kann, bestimmten wir mittels Thermo-nadeln die Temperatur beim Schweine in verschiedenen Tiefen unter der Haut. Wir bedienten uns hierzu eines d'Arsonval-Galvanometers, dessen bewegliche Spule einen Widerstand von 2 Ohm leistete. Als Thermo-nadeln wurden dünne stählerne Röhren angewandt, die nach unten in einer massiven Spitze endigten; in der Röhre verlief ein isolirter Draht aus Constantan (Legirung von Kupfer und Nickel), der unten in der massiven Spitze der stählernen Röhre festgeschraubt war; die beiden Metalle kamen also erst hier mit einander in Berührung.

Die ganze Nadel war etwa 0.3^{cm} im Durchmesser und liess sich leicht durch die Haut und das darunter gelegene Fettgewebe stechen.

Zu den Versuchen wurden zwei solche Nadeln angewandt, die auf gewöhnliche Weise mit dem Galvanometer und unter einander ver-

bunden waren. Die eine Nadel wurde in constanter Temperatur erhalten, indem sie in den Dämpfen kochenden Aethers angebracht war. Vor und nach jedem Versuche wurde bestimmt, welcher Temperatur die Theilstriche der Fernröhrscala entsprachen.

Erst wurde mit einem spitzen Messer die Haut des Versuchsthieres durchstochen und die eine Thermonadel bis 1^{cm} unter die Oberfläche der Haut eingeführt, worauf die Stellung des Galvanometers abgelesen wurde; hierauf wurde die Nadel noch 1^{cm} tiefer eingeführt, dann das Galvanometer wieder abgelesen u. s. w.

Die Nadel wurde stets durch einen starken Kautschukschlauch isolirt. Als Beispiel mehrerer Messungen sei hier angeführt (die Messung an der Mitte des Rückens ein wenig links von der Mittellinie unternommen):

1 ^{cm}	unter der Haut	33.7°
2	" "	34.8
3	" "	37.0
4	" "	39.0
Rectaltemperatur . .		39.9

Es geht hieraus hervor, dass die Unterschiede der Temperatur, die sich in den verschiedenen Abschnitten des Hautfettes finden, sogar sehr bedeutend sind; es ist daher nicht unwahrscheinlich, dass die verschiedene Zusammensetzung des Fettgewebes an verschiedenen Stellen des Körpers von Variationen der Temperatur des Gewebes herrührt.

Um dieses Verhältniss näher zu untersuchen, stellten wir folgende Versuche an: drei Ferkel aus demselben Wurfe wurden so angebracht, dass ein Ferkel sich in einem bei der Temperatur von 30 bis 35° erhaltenen Raume aufhielt, während die beiden anderen sich in einem Stalle befanden, dessen Temperatur um 0° herum schwankte (der Versuch wurde im Winter angestellt). Das eine der beiden letzteren Thiere wurde in einen Schafpelz mit der Wolle nach innen eingenäht, so dass sein Rücken, sein Bauch und seine Seiten vom Pelze bedeckt waren. Alle drei Thiere wurden mit demselben, ausschliesslich aus Mais bestehenden Futter gefüttert. Nach Verlauf von zwei Monaten wurden alle drei Thiere geschlachtet und das Fett, sowohl das Hautfett, als das Nieren- und Omentfett wurde untersucht. Das Resultat dieser Versuche war folgendes:

I. Schwein in der Wärme	Jodzahl	Erstarrungsp.	Sinken bis	Steigen bis
Aeuss. Schicht d. äuss. Hautf.	69.4	24.2°	23.9°	24.6°
Innere " " "	66.2	25.4	25.0	25.8
Aeuss. " " inn.	62.5	26.7	26.2	27.1

I. Schwein in der Wärme	Jodzahl	Erstarrungsp.	Sinken bis	Steigen bis
Innere Schicht d. inn. Hautf.	61.5	27.2°	26.8°	27.5°
Nierenfett	58.1	28.1	27.2	28.5
Omentfett	54.7	29.0	28.8	29.2

II. Schwein im Pelz vor dem Pelze

Aeuss. Schicht d. äuss. Hautf.	69.4	24.0	23.5	24.1
Innere " " " "	67.8	25.0	24.6	25.4
Aeuss. " " inn. "	63.8	26.0	25.0	26.6
Innere " " " "	62.9	26.8	25.9	27.0

unter dem Pelze

Aeuss. Schicht d. äuss. Hautf.	67.0	25.2	24.5	25.4
Innere " " " "	65.2	25.9	25.4	26.4
Aeuss. " " inn. "	62.4	26.8	25.7	26.8
Innere " " " "	62.8	—	—	—
Nierenfett	58.8	28.8	27.8	28.8
Omentfett	51.2	29.2	27.9	29.2

III. Schwein in der Kälte

Aeuss. Schicht d. äuss. Hautf.	72.3	22.8	22.6	23.2
Innere " " " "	70.5	24.1	23.8	24.8
Aeuss. " " inn. "	65.5	25.7	25.4	26.6
Innere " " " "	64.2	25.6	25.3	26.8
Nierenfett	56.6	28.4	27.0	28.8
Omentfett	56.1	29.0	27.7	29.0

Aus den hier angeführten Zahlen geht hervor, dass das Thier, welches sich während der ganzen Versuchsperiode in der Kälte aufhielt (Schwein III), nach Abschluss des Versuches ein Hautfett hatte, das sowohl hinsichtlich der Jodzahl, als des Erstarrungspunktes ziemlich bedeutend von dem in den beiden anderen Thieren abgesetzten Fettgewebe abwich. Die Kälte hatte die Bildung eines verhältnissmässig oleinhaltigen und leichtflüssigen Hautfettes bewirkt; dagegen sehen wir, dass der Unterschied der Erstarrungstemperatur des Nieren- und Gekrösfettes bei den drei Thieren ein verhältnissmässig geringer ist, indem wir betreffs des Nierenfettes für I 28.5°, für II 28.8° und für III 28.8° finden, während die Erstarrungstemperatur des Gekrösfettes 29.2°, 29.2° bzw. 29.0° ist.

Die Wirkung erweist sich also namentlich hinsichtlich des Hautfettes, ein Umstand, der noch mehr zu bestätigen scheint, dass die Temperatur für die chemische Zusammensetzung des Fettes von wesentlicher Bedeutung ist.

Ein anderes Verfahren, um zu entscheiden, ob die Temperatur

auf die chemische Zusammensetzung des Fettes Einfluss besitzt, könnte man durch die Untersuchung des Hautfettes des Mutterthieres und des Embryos zu finden erwarten. Das Hautfett des Mutterthieres hat nämlich eine Temperatur, die zwischen der Temperatur der Umgebungen und der des Blutes liegt, während im Embryo das Hautfett — wenn solches vorhanden ist — eine Temperatur hat, die der in der Peritonealhöhle des Mutterthieres angetroffenen entspricht. Es ist aber gar nicht gesagt, dass derartige Untersuchungen, wie man von vornherein anzunehmen geneigt sein möchte, sicheren Aufschluss geben. An und für sich steht dem nichts im Wege, dass die Fettbildung während des Embryonallebens von ganz anderen Verhältnissen als denen, die wir bei dem erwachsenen Thiere antreffen, abhängig sein könnte, und dies wird besonders durch den Umstand wahrscheinlich, dass die Entwicklung es dem Embryo ermöglichen soll, zu einem gegebenen Zeitpunkte plötzlich in einer Temperatur zu leben, die viel niedriger ist als die, in welcher er während seiner Entwicklung lebt. Ferner ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass nur Fett (oder vielmehr wohl nur Seifen) von bestimmter Zusammensetzung durch die Placenta passirte, so dass die Zusammensetzung des embryonalen Fettes nicht durch Vorgänge im Embryo selbst, sondern durch Vorgänge in der Placenta bestimmt würde, den Verhältnissen analog, die wir als in den Milchdrüsen stattfindend angetroffen haben. Untersuchungen der hier erwähnten Art liegen, wenn auch in etwas mangelhafter Form, mit Bezug auf den Menschen vor. So hat Langer¹ die Zusammensetzung des subcutanen Gewebes bei neugeborenen Kindern untersucht und gefunden, dass dasselbe weit mehr Stearin und Palmitin und weit weniger Olein enthält, als man durchschnittlich im subcutanen Fett erwachsener Menschen findet. Bei neugeborenen Kindern ist nach Langer fast alles Fett als subcutanes Fett abgelagert, während sowohl das Nierenfett, als das Oment- und Mesenterialfett fast gänzlich fehlt, ein dem beim Seehunde und Delphin vorgefundenen also ganz analoges Verhältniss. Ein Vergleich des Hautfettes mit dem Eingeweidefett lässt sich deshalb beim menschlichen Embryo nicht anstellen, obschon er für die hier vorliegende Sache besonderen Werth haben würde, da anzunehmen ist, dass im Embryo die Temperatur eben unter der Haut ungefähr dieselbe ist, wie in der Peritonealhöhle.

Gegen Langer's Untersuchungen lässt sich indess der Einwurf

¹ Langer, *Sitzungsber. d. Wiener Acad. d. Wiss.* 1881. Bd. LXXXIV.

erheben, dass die Zusammensetzung des Fettgewebes des neugeborenen Kindes nicht mit dem Fettgewebe der Mutter verglichen wurde.

Um sicheren Aufschluss darüber zu erhalten, ob das Fettgewebe des Embryos von dem der Mutter verschieden ist, wäre es absolut nothwendig, Fettgewebe aus beiden zum Vergleichen zu haben. Die chemische Zusammensetzung des Fettgewebes ist nämlich in sehr hohem Maasse von dem mit der Nahrung aufgenommenen Fette abhängig, und wie wir in einer früheren Abhandlung nachwiesen, kann man — bei Schweinen — die Absetzung von Fett erzielen, dessen Jodzahl in einigen Fällen um 60, in anderen dagegen um 100 herum liegt. Hiervon abgesehen, giebt es aber noch ein Verhältniss, das eine grosse Rolle spielt, den Umstand nämlich, dass das Fett, welches man aus Menschen zur Untersuchung erhalten kann, gewöhnlich von kranken Individuen herrührt; es erleidet gewiss keinen Zweifel, dass die Zusammensetzung des Fettgewebes durch viele Krankheiten verändert wird, indem nicht alle chemischen Elemente des Gewebes gleich schnell schwinden; bald wird vorzüglich das Olein, bald werden die festeren Theile, das Stearin und das Palmitin, verbraucht werden.

Langer's Untersuchungen scheinen also nach der Richtung zu deuten, dass das subcutane Fettgewebe des menschlichen Embryos bedeutend schwerer schmelzbar (mehr oleinarm) ist als das entsprechende Gewebe des erwachsenen Menschen; es lässt sich aber nicht behaupten, dass dieses Verhalten sicher bewiesen sei.

Während die Gelegenheit sich nur selten darbietet, in Betreff des Menschen das Fettgewebe des Embryos mit dem der gesunden Mutter zu vergleichen, stellt das Verhältniss sich bei Thieren natürlich anders. Es stellt sich hier aber eine Schwierigkeit ein, die in dem fast vollständigen Mangel an Hautfett bei den Embryonen der meisten Thiere liegt. Weder beim Hunde, noch beim Kaninchen und Schweine fanden wir subcutanes Fett im neugeborenen Thiere, ein wenig Fett in der Nierenkapsel ist alles, was in diesen Embryonen an Fett anzutreffen ist. Dasselbe gilt auch von dem Embryo der Kuh; doch haben wir ein einziges Mal bei einem neugeborenen Kalbe eine unbedeutende Menge subcutanen Fettes an der Schwanzwurzel gefunden. Indess fanden wir bei einem einzelnen Thiere — dem Delphin nämlich —, dass der Embryo eine sogar bedeutende Schicht Hautfett hatte, während die Eingeweide und die Nieren hier wie beim erwachsenen Thiere völlig frei von Fett sind.

Wir fanden hier die eigenthümlichen, oben beschriebenen Verhältnisse; bei Betrachtung der Fig. 3 wird man sehen, dass das Haut-

fett des Embryos beträchtlich mehr-festes und schwer schmelzbares Fett enthält, als das Hautfett des Mutterthieres.

Beim Delphin treffen wir also wirklich ein Verhalten an, welches zeigt, dass das Fettgewebe in der Haut des Embryos (möglicher Weise wegen der hohen Température) bedeutend schwerer schmelzbar ist als das Fettgewebe in der Haut des Mutterthieres.

Dieses Beispiel allein genügt jedoch nicht, um die ganze hier aufgeworfene Frage ins Reine zu bringen; diese lässt sich nur durch eine weit grössere Anzahl von Untersuchungen verschiedener Thierformen lösen.

Ueber Lecithinverbindungen.¹

Von

H. J. Bing.

(Aus dem physiologischen Laboratorium der kgl. Hochschule für Veterinärwesen und Landwirthschaft in Kopenhagen.)

Gobley² wird als der Erste genannt, der das Lecithin darstellte und hierin Fettsäure und Glycerinphosphorsäure nachwies. Während der folgenden Jahre wurden von verschiedenen Seiten phosphorhaltige Fettstoffe sowohl im Thierreich, als im Pflanzenreich nachgewiesen. Liebreich³ stellte 1865 das Protagon dar und wies nach, dass sich in demselben Glycerinphosphorsäure, fette Säuren und Neurin finden. Hoppe-Seyler gab während des Zeitraums 1866 bis 1871 die „Medicinisch-chemischen Untersuchungen“ heraus. Hierin findet man verschiedene Aufsätze über theils von Hoppe-Seyler selbst, theils von seinen Schülern Parke, Diaconow, Miescher angestellte Untersuchungen über diese Stoffe. In den ersten Aufsätzen wurde das Protagon in verschiedenen Geweben und Flüssigkeiten in Verbindung mit Albuminstoffen nachgewiesen, z. B. im Ei unter der Form von Vitellin; in den Blutkörperchen glaubte man es in Verbindung mit Hämoglobin anzutreffen. In diesen ersten Arbeiten wurde angenommen, das Lecithin sei verunreinigtes Protagon, oder, als der Phosphorgehalt sich gar zu gross erwies, es sei entweder ein von demselben durchaus verschiedener Stoff, oder eine Mischung von Protagon mit einer

¹ Der Redaction am 4. September 1900 zugegangen.

² Citirt nach Hoppe-Seyler, *Med.-chem. Untersuchungen*.

³ Liebreich, *Ann. d. Chem. u. Pharm.* Bd. CXXXIV.

anderen phosphorhaltigen Substanz. Inzwischen wurde durch Arbeiten von Diaconow¹ und Strecker² die Zusammensetzung des Lecithins näher bestimmt. Zugleich ergaben quantitative Analysen über die Phosphormenge im Alkoholextract von Eiterzellen, dass dieselbe nicht vom Protagon herrührt, indem sie, wenn man sie als ausschliesslich vom Protagon stammend bezeichnete, einer grösseren Menge Protagon entsprechen würde, als das Gewicht des sämmtlichen Alkoholextracts beträgt. Man ging nun zur entgegengesetzten Aeusserlichkeit, bestritt oder bezweifelte überhaupt, dass Lecithin in Verbindung zu finden sei, und meinte, in den erwähnten Fällen (Vitellin, Hämoglobinverbindung, Protagon) mit Mischungen zu thun zu haben, indem z. B. bei der Abscheidung von Cerebrin Lecithin mitgerissen werden sollte.

Strecker's Untersuchungen fallen, wie erwähnt, in diesen Zeitraum. Er bestimmt die Constitutionsformel des Lecithins als ätherartige Verbindung des Cholins mit der durch zwei Fettsäureradiale substituierten Glycerinphosphorsäure, welche Bestimmung später von Hundeshagen³ und Gilson⁴ bestätigt worden ist. Er hebt hervor, dass das Lecithin also eine Base, eine Säure und ein Fettstoff zugleich ist. Er weist ferner eine Platinchloridverbindung nach, indem er ein Dotter mittels einer Mischung von Alkohol und Aether auszieht, darauf einen Theil des Aethers abdampft und so lange Alkohol zusetzt, wie ein fettiges Oel ausgeschieden wird. Der Lösung setzt er eine weingeistige, mit Salzsäure gesättigte, saure Platinchloridlösung zu und erhält hierdurch reichlichen, flockigen Bodensatz, der vom Cholinplatinchlorid verschieden ist. Derselbe löste sich leicht und reichlich in Aether, Schwefelkohlenstoff und Benzol. Aus diesen Lösungen wird er durch Weingeist in gelben Flocken gefällt, die sich beim Schütteln leicht zusammenklumpen. Auch mit Cadmiumchlorid lässt sich das Lecithin aus einer äther-weingeistigen Lösung ausfällen; diese Verbindung findet er schwerer löslich, als die Platinchloridverbindung. Er hebt die leichte Spaltbarkeit der Lecithinverbindungen hervor.

Während der folgenden Zeit wurden einige Arbeiten über das Protagon ausgeführt, durch welche theils dessen elementare Zusammensetzung bestimmt wurde, theils die Frage, ob es eine Mischung, oder

¹ Diaconow, *Centralbl. f. d. med. Wissensch.* 1868.

² Strecker, *Ann. d. Chem. u. Pharm.* Bd. CXLVIII.

³ Hundeshagen, *Journ. f. prakt. Chem.* 1883. Bd. XXVIII.

⁴ Gilson, *Zeitschr. f. phys. Chem.* 1888. Bd. XII.

eine chemische Verbindung sei, wiederholt discutirt wurde. Ich werde mich auf diese Frage nicht näher einlassen, da ich sie früher etwas ausführlicher besprochen habe, und da man sie besonders von Baumstark¹ eingehend behandelt finden kann; dieser hat uns eine der umfassendsten und hervorragendsten Arbeiten auf diesem Gebiete gegeben. Als Resultat dieser Untersuchungen ging hervor, dass das Protagon sich in Hirnsubstanz präformirt findet, während das Cerebrin und mehrere ähnliche Verbindungen als Spaltungsprodukte zu betrachten sind.

Liebermann² wies in der Schleimhaut des Magens, der Leber, den Nieren, den Lungen und der Milz eine Verbindung von Albuminstoff mit Lecithin nach. Er stellte diesen Stoff dar, indem er die Organe mit Pepsin verdaute, wodurch ein Bodensatz ausgeschieden wurde, der sich nach Reinigung als in Wasser, kaltem Alkohol und Aether unlöslich, in warmem Alkohol, wie auch durch Sieden in einer Sodalösung leichtlöslich erwies, beim Sieden findet jedoch partielle Spaltung des Stoffes statt. Dieser hatte stark saure Eigenschaften. Liebermann fand z. B., dass Metallsalze, die man hierdurch filtrirte, zurückgehalten wurden. Ebenfalls vermochte der Stoff Alkaloide zurück zu halten; so zeigte es sich, dass man, wenn man 5^{cc} salzsauren Strychnins mehrere Male durch 2^{cc} Lecithalbumin filtrirte, die Aufnahme desselben hierin bewirken konnte, ebenso verhielt es sich mit salzsaurem Chinin und Morphin. Endlich fand er, dass Eialbumin, Milch und Oelemulsion zurück gehalten wurden, während dies mit Zucker und Pepton nicht der Fall war.

Im Jecorin, das zuerst von Drechsel³ aus der Leber dargestellt wurde, haben wir eine Lecithinverbindung, die, wie er nachwies, reducirende Substanz enthält. Spätere Untersuchungen⁴ haben gezeigt, dass dieser Stoff sich in verschiedenen Geweben findet, und dass der grösste Theil der Glykose des Blutes an das Jecorin gebunden vorkommt; ebenfalls konnte man ausserhalb des Organismus aus Lecithin und Kohlehydrat sehr leicht eine Verbindung mit ähnlichen Reactionen wie das Jecorin bilden, weshalb der Lecithinzucker als mit dem Jecorin identisch aufgefasst wurde.

¹ Baumstark, *Zeitschr. f. phys. Chem.* Bd. IX.

² Liebermann, *Pflüger's Archiv.* Bd. L bis LIV.

³ Drechsel, *Journ. f. pract. Chem.* Bd. XXXIII.

⁴ Baldi, *Arch. f. Anat. u. Physiol.* Physiol. Abth. 1887. — Manasse, *Zeitschr. f. phys. Chem.* Bd. XX. — Jacobsen, *Centralbl. f. Phys.* 1892, u. *dies Arch.* Bd. VI. — Henriques, *Zeitschr. f. phys. Chem.* Bd. XIII. — Bing, *dies Arch.* Bd. IX.

Einen jecorinähnlichen Stoff fand Manasse¹ in den Nebennieren. Aus diesem konnte man durch Behandlung mit Schwefelsäure eine reducirende Substanz gewinnen, eine Phenylhydrazinverbindung gab derselbe jedoch nicht.

In der jüngsten Zeit hat Zuelzer² ziemlich ähnliche Stoffe in der Hirnsubstanz nachgewiesen; diese Arbeit werde ich später näher besprechen.

Nachdem die Beobachtung gemacht worden war, dass das Lecithin und die Glykose, wenn sie zusammen in Alkohol aufgelöst werden, eine Verbindung bilden, konnten Zweifel entstehen, ob diese Stoffe im Organismus wirklich mit einander verbunden seien. Es liesse sich nämlich denken, dass sie im Organismus frei oder auch in anderen Verbindungen vorkämen, und erst durch Zusatz von Alkohol in diesem zur Auflösung gebracht würden und sodann eine Verbindung schlössen. Bisher ist es mir nicht gelungen, durch meine früheren Versuche eine Lösung dieser Aufgabe zu erreichen, spätere Versuche führten ebenso wenig zu einem Ergebnisse. Es scheint doch viel dafür zu sprechen, dass die Verbindung präformirt ist; theils ist die allem Anscheine nach analoge Verbindung, das Protagon, durch directen Auszug mit Aether (in welchem das Cerebrin unlöslich ist) aus dem Hirngewebe dargestellt worden, theils ist es sehr unwahrscheinlich, dass Stoffe, die so leicht Verbindungen schliessen, dass Zucker, der in Aether unter fein vertheilter Form ausgefällt wurde, durch Zusatz einer ätherischen Lösung von Lecithin sich darin auflösen lässt, nicht auch im Serum, in welchem beide aufgelöst zu finden sind, sich sollten verbinden können. Durchaus verkehrt scheint es mir jedenfalls, dass es stets als zweifelhaft erschien, ob man die dargestellten Substanzen als Verbindungen oder als Mischungen betrachten müsse, ein Zweifel, der noch von Manasse geäussert wird. Ich glaube, dies rührt daher, dass man dergleichen Lecithinverbindungen nur in geringem Umfang ausserhalb des Organismus dargestellt hat, und hier sucht folgende Darstellung verschiedener derartiger Verbindungen zum Theil ihre Berechtigung.

Wie man sehen wird, sind die Stoffe, aus denen Lecithinverbindungen dargestellt wurden, ziemlich willkürlich gewählt, verschiedenen chemischen Gruppen entnommen. Sie sollen keineswegs eine nur einigermaassen erschöpfende Aufzählung möglicher Lecithinverbindungen

¹ Manasse, l. c.

² Zuelzer, *Zeitschr. f. phys. Chem.* Bd. XXVII.

geben, deren Zahl gewiss auch sowohl in Betreff der mitgenommenen Gruppen, als in Betreff zahlreicher anderer eine sehr grosse ist.

Im Ganzen war das Verfahren folgendes. Einer alkoholischen Lösung von Lecithin wurde eine alkoholische Lösung der Stoffe zugesetzt. Zum Kennzeichen, ob die beiden Stoffe eine Verbindung geschlossen hatten und keine blosse Mischung bildeten, diente, dass man nach Eindampfung andere Löslichkeitsverhältnisse erhielt, als eine Mischung der Stoffe würde darbieten können.

Die mittels dieses Verfahrens dargestellten Verbindungen sind in nachstehender Tabelle angeführt.

Man wird sehen, dass die Alkalisalze der genannten Säuren (Chlornatrium, Natriumlactat, Natriumoxybutyrat, Kaliacetat) sich ähnlicher Weise wie der Zucker verhalten, indem sie in Aether lösliche Verbindungen bilden, die durch Alkohol gefällt werden, um in Ueberschuss dieses Stoffes ganz oder theilweise wieder aufgelöst zu werden. Die Verbindungen sind selbst in warmem Aceton unlöslich.

Die Sublimatverbindung ist in Alkohol schwer löslich, in Aether löslich, wird nicht durch Alkohol gefällt, ist in Aceton löslich. Setzt man in Aceton aufgelöstes Sublimat zu Lecithin, das in Aceton fein gefällt ist (was dadurch zu erzielen ist, dass man Lecithin in warmem Aceton auflöst und darauf abkühlt), so findet eine momentane Lösung des Lecithins statt.

Die Glycosiden: Phloridzin, Salicin und Amygdalin bilden ebenfalls Verbindungen. Die in Aether gelöste Phloridzinverbindung zeigt die Eigenthümlichkeit, dass bei Erhitzung ein Bodensatz entsteht, der bei Abkühlung wieder verschwindet. Dieses Verhalten ist bei der Phloretinverbindung nicht anzutreffen.

Die angeführten Alkaloidverbindungen (mit salzsaurem Morphin, salzsaurem Nikotin und salpetersaurem Strychnin) bilden sich ebenso wie die vorher genannten. Was das salpetersaure Strychnin betrifft, so lässt das Vorhandensein einer Verbindung sich dadurch nachweisen, dass dieser Stoff in Acetonlösung ähnlicher Weise wie das Sublimat frisch gefälltes Lecithin zur Auflösung bringen kann. Ein frischer Niederschlag salzsauren Morphins in Aether lässt sich durch zugesetztes, in Aether gelöstes Lecithin zur Auflösung bringen.

Es wurden keine Untersuchungen darüber angestellt, in welchen Verhältnissen die angegebenen Stoffe sich mit Lecithin verbinden; wahrscheinlich ist es, dass das Verhältniss ein ähnliches ist, wie hinsichtlich des Lecithinzuckers, indem bald eines, bald mehrere Moleküle der Stoffe sich mit einem Molekül des Lecithins verbinden. Charakteristisch für diese Verbindungen ist ihre leichte Spaltbarkeit, indem

Stoff	Löslichkeitsverhältnisse	Löslichkeit der Lecithin- verbind. in Alkohol	verbind. in Aether, Fällung durch Alkohol	verbind. in Aceton, auch in warmem Aceton.
Chloratrium	lös. in W., schwer lös. in Alk., unlös. in Aeth.	schwer lös. in Alkohol.	lös. in Aeth., wird durch Alk. aus Aetherlös. und durch Aeth. aus Alkohol- lösung gefä. "	unl. in Aceton, auch in warmem Aceton.
Natriumlactat . . .	lös. in W. u. Alkoh., unl. in Aether.	löslich in Alkohol.	"	"
Natriumoxybutyrat	"	"	"	"
Kaliacetat	"	"	lös. in Aeth., giebt keine Fällung mit Alkohol.	unl. in Aceton, lös. in warmem Aceton.
Natriumbenzoat . .	lös. in Alk., unl. in Aeth.	"	"	lös. in Acet.. Wird Subli- mat in Acetonlös. mit Le- cithin in Aceton versetzt, so tritt momentane Lös. des Lecithins ein.
Sublimat	lös. in W., Alk. u. Aeth.	"	"	unlöslich in Aceton.
Platinchlorid	lös. in Alk., unl. in Aeth.	Wird eine alkoh. Lös. von Lecithin mit einer alkoh. Lös. v. Platinchlor. ver- setzt, so entsteht Nieder- schl., der in Wärme (45°) und mehr Alk. fast völlig wieder gelöst wird.	lös. in Aeth., wird durch Alkohol gefä. "	löslich in Aceton.
Phloridzin	lös. in W. u. Alk., unl. in Aeth.; in Alk. aufgelöst wird es durch eine grosse Menge Aeth. nicht gef.	löslich in Alkohol.	lös. in Aeth. Bei Erwär- mung entst. Niederschl., der bei Abkühlung wie- der verschwindet. Keine Fällung durch Alkohol.	"
Phloretin	lös. in Alk., unl. in Aeth., lös. in Aeth. u. Alk.	löslich in Alkohol.	löslich in Aether.	unl. in Aceton, löslich in warmem Aceton.
Phlorose	Reaktionen wie d. Glycose	"	löslich in Aether; keine Fällung durch Alkohol.	löslich in Aceton.
Salicin	lös. in Alk., unl. in Aeth.; wird nicht durch Aeth. aus Alkohol gefä. "	"	"	"
Amygdalin	lös. in W. u. Alk., unl. in Aether u. Aceton.	"	löslich in Aether.	"
Salzsaures Morphin	lös. in W. u. Alk., unl. in Aether.	"	"	"
Salzsaures Nicotin.	"	"	"	"
Salz. Strychnin . .	lös. in W., Alk. u. Aeth.	"	"	"

beim Stehen und bei Auflösung nach Fällung häufig ein Theil der Stoffe sich ausscheidet. Diese Verhältnisse sind ebenfalls schon eingehender untersucht worden, was den Lecithinzucker betrifft.

Das Jecorin ist dem Obenstehenden zu Folge als eine Mischung verschiedener Lecithinverbindungen (unter denen gewöhnlich wohl die Lecithinglycose vorwiegt) zu betrachten, die das gemeinschaftliche Merkmal haben, dass sie in Alkohol und Aether löslich sind und hierin durch Zusatz von Aether und Alkohol ausgefällt werden, um in Ueberschuss der Fällungsflüssigkeit wieder ganz oder theilweise gelöst zu werden. In dem aus der Leber gewonnenen Jecorin wird man z. B. ausser der Lecithinglycose auch Verbindungen des Lecithins mit Natriumlactat und Chlornatrium, vielleicht auch mit anderen Stoffen antreffen. Man wird somit verstehen können, woher das Natrium kommt, das Drechsel und Baldi durch Elementaranalyse des Jecorins nachwiesen.

Zuelzer beschäftigte sich vor kurzem in einer Abhandlung mit dem Lecithin und anderen Myelinsubstanzen im Gehirn und im Eigelb. Er lieferte hier u. A. eine neue Methode der Darstellung des Lecithins, mittels deren er nach wenigen Proceduren ein reines Präparat erzielte. Der Hauptinhalt seines Aufsatzes besteht indess aus Untersuchungen über die Hirnsubstanz. Er glaubte, in derselben freies Lecithin nachgewiesen zu haben, indem es ihm gelang, durch wiederholte Auflösung und Fällung mit Aether, Aceton und Alkohol eine Substanz darzustellen, die wie das Lecithin aussah und reagierte, und deren Phosphorgehalt dem des Lecithins entsprach, so dass es für berechtigt anzusehen ist, wenn er den dargestellten Stoff gleich dem Lecithin setzte. Hieraus zu schliessen, das Lecithin sei frei, ist er aber keineswegs berechtigt, indem es, wie eben ausgeführt, grosse Wahrscheinlichkeit für sich hat, dass man sogar bei noch so wenig eingreifender Behandlung möglicher Lecithinverbindungen deren partielle Spaltung bewirken wird. Schon durch das Schütteln eines Eidotters mit Aether erhält man Spaltung einer Lecithinverbindung, das Vitellin nämlich, sonst würde kein Lecithin zur Auflösung kommen. Dampft man vorher bei niedriger Temperatur bis zur Trockenheit ein, so wird, wie Liebermann¹ nachwies, keine phosphorhaltige Substanz in die Aetherlösung übergehen; in diesem Falle wird das Vitellin nicht gespalten.

Die von Zuelzer nachgewiesenen neuen Myelinsubstanzen sind den angegebenen Reactionen zu Folge zunächst dem Jecorin ähnlich.

¹ Liebermann, Pflüger's *Archiv*. 1888. Bd. XLIII;

Es scheint mir deshalb am wahrscheinlichsten, dass sie für Lecithinverbindungen oder für Spaltungsproducte von solchen zu halten sind, und die Darstellungsweise macht es am annehmbarsten, dass wir theilweise mit Spaltungsproducten zu thun haben. Die Elementaranalysen stimmen mit den von Drechsel und Baldi für Jecorin gefundenen nicht überein, dies liess sich aber auch nicht erwarten, da wir annehmen müssen, dass wir hier mit anderen Lecithinverbindungen als in der Leber zu schaffen haben. Es wird schwer zu entscheiden sein, ob man mit einer oder mit mehreren Verbindungen zu thun hat, wie es in letzterem Falle ebenfalls Schwierigkeiten bereiten wird, die verschiedenen Verbindungen auseinander zu halten, da sie theils keine eingreifende Behandlung ertragen, theils, wie wir oben sahen, sich den gewöhnlichen Lösungsmitteln gegenüber sehr gleichartig verhalten. Vielleicht lässt sich u. A. die verschiedene Löslichkeit in (etwa 40°) warmem Aceton benutzen, indem ein Theil der Verbindungen sich hierin auflöst, andere dagegen ungelöst bleiben.

Unsere Ansicht ist die, dass das Lecithin in Verbindung mit anderen Stoffen angetroffen wird, die sich in den Flüssigkeiten des Organismus aufgelöst finden, was denn auch Baumstark¹ folgendermaassen ausdrückt: „Das Lecithin findet sich immer in innigster Wechselbeziehung zu anderen Verbindungen in den Flüssigkeiten, in denen es vorkommt. Es geht mit verschiedenen, zum Lebensprocess nothwendigen Stoffen Verbindungen ein von wechselnden Molekularverhältnissen.“

Es giebt im Lecithinmolecül mehrere Stellen, wo eine derartige Bindung stattfinden kann; bei Stoffen indifferenten Charakters, wie den oben untersuchten, lässt sich daher nichts darüber äussern, wo diese Bindung geschieht. Dagegen lässt sich sagen, dass zwei Stoffe an dieselbe Stelle gebunden sein müssen, wenn man durch Zusatz des einen zu einer Lecithinverbindung des anderen den letzteren auszutreiben vermag. Dies wurde rücksichtlich der Glycose und des Natriumoxybutyrats auf folgende Weise nachgewiesen:

I. Eine geringe Menge Lecithin (etwa 9^{mg}) wird in Alkohol gelöst. Es wird Glycose zugesetzt, eingedampft, in Aether aufgelöst und filtrirt. Aus der Aetherlösung werden zwei gleich grosse Proben, A und B, genommen. Die eine wird nach Behandlung mit Schwefelsäure unmittelbar zur Bestimmung des Zuckers gebraucht. Die andere wird eingedampft, in Alkohol aufgelöst, mit einer alkoholischen Auf-

¹ Baumstark, l. c. S. 179.

lösung von Natriumoxybutyrat versetzt, darauf eingedampft, in Aether aufgelöst und filtrirt. Nach Behandlung mit Schwefelsäure wird die Zuckermenge des Filtrates bestimmt.

A. Menge der Glycose in der Aetherauflösung 0.032^s

B. " " " 0.004

II. Ebenso wie im vorigen Falle werden einer Lecithinglycoseauflösung in Aether zwei gleich grosse Proben, A und B, entnommen. B wird nach Eindampfung und Auflösung in Alkohol mit Natriumoxybutyrat versetzt.

A. Menge der Glycose in der Aetherlösung 0.111^s

B. " " " 0.023

Man sieht hieraus, dass der Zusatz von Natriumoxybutyrat einen Theil des Zuckers aus der Verbindung vertrieben hat.

Wir werden uns hier nicht darauf einlassen, zu untersuchen, welche Rolle diese Lecithinverbindungen möglicher Weise überhaupt unter normalen und pathologischen Verhältnissen im Organismus spielen, sondern nur eine einzelne Gruppe — die Lecithinverbindungen der Alkaloide — näher besprechen, weil wir hier etwas dem vor Kurzem von anderer Seite erschienenen Analoges aufzustellen im Stande sind.

Hans Meyer¹ ist der Ansicht, die Wirkung der Narcotica aus der Gruppe der fetten Körper rühre davon her, dass diese Körper vorzüglich in Zellen aufgenommen würden, in denen sich fettähnliche Substanzen fänden. Meyer und Baum² führen aus, dass das narкотische Vermögen der Stoffe „von ihrer mechanischen Affinität zu fettähnlichen Substanzen einerseits, zu den übrigen Körperbestandtheilen, d. i. hauptsächlich Wasser, andererseits abhängig sein muss.“ Deswegen würden sie namentlich in das an Fettsubstanzen besonders reiche Nervengewebe aufgenommen.

Ist diese Theorie richtig, so wird man eine ziemlich ähnliche Betrachtungsweise auf die Alkaloide zur Anwendung bringen können. Diese werden namentlich in den lecithinhaltigen Theilen des Organismus, vorzüglich also im Nervensystem zurückgehalten werden und ihre spezifische Wirkung mithin auf dessen Zellen ausüben können.

Es ist jedoch nicht anzunehmen, dass nur der Charakter eines Fettes die Verbindung bewirken sollte, denn es gelang nicht, Verbindungen des Fettes mit den Alkaloiden ähnlicher Weise wie Verbindungen der letzteren mit Lecithin zu bilden.

¹ H. Meyer, *Arch. f. exper. Path. u. Pharm.* 1899. Bd. XLII.

² Meyer u. Baum, *Ebenda*.

Ferner haben wir hier nicht mit einer Lösung des Stoffes in Fett oder umgekehrt zu schaffen, sondern mit einer Bindung.

Während Meyer glaubt, die narkotische Wirkung rühre ganz einfach daher, dass Fett und fettähnliche Substanzen im chemisch indifferenten Stoffe aufgelöst würden, lässt sich die Wirkungsart der Alkaloide dagegen nicht so einfach erklären. Die Bindung wird nur erklären, dass dieselben namentlich auf die Zellen des Nervensystems wirken, während sie über die verschiedenartige spezifische Wirkungsweise keinen Aufschluss giebt. Zur Bestätigung der hier aufgestellten Ansicht sind aber nähere Untersuchungen erforderlich.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, dem Herrn Dr. med. Valdemar Henriques, für seine jederzeit freundliche Unterstützung meinen verbindlichsten Dank abzustatten.

Ueber den Einfluss der Nahrungsaufnahme auf den Stoffwechsel.¹

Von

Gunnar Koræen.

(Aus dem physiologischen Laboratorium des Carolinischen Medico-chirurgischen Instituts in Stockholm.)

Schon seit den grundlegenden Arbeiten Lavoisier's ist es bekannt, dass der Stoffwechsel unter dem Einfluss der Nahrungsaufnahme ansteigt. Als Erklärung dieser Thatsache hat man theils eine vermehrte Circulation von oxydationsfähigem Material, theils die Arbeit des Verdauungstractus herbeigezogen. Magnus-Levy,² der diese Frage an der Hand zahlreicher Versuche erörtert hat, fasst die Ergebnisse seiner eigenen und der früheren Untersuchungen darin zusammen, dass die Verdauungsarbeit in der That den während der Verdauung gefundenen grösseren Stoffumsatz bedingt. Indess ist es zweifelhaft, ob man jedoch die nach Aufnahme von Eiweiss eintretende Steigerung des Umsatzes stets ausschliesslich auf Verdauungsarbeit zurückführen könne, denn einige Umstände sprechen dafür, hier noch ausserdem eine specifische Wirkung des Eiweisses anzunehmen, derart, dass das Eiweiss die Zellen des Körpers direct zu einem erhöhten Umsatz veranlasst.

Es kann aber noch ein weiteres Moment mitwirken, nämlich ein durch die Nahrungsaufnahme reflectorisch bewirkter vermehrter Muskeltonus. Wir wissen ja, wie die Leistungsfähigkeit des Körpers schon durch ein einige Stunden dauerndes Fasten abnimmt, und wie sie auf der anderen Seite nach Nahrungsaufnahme fast augenblicklich ansteigt. Es ist daher wohl möglich, dass auch der Muskeltonus nach der Nahrungsaufnahme anstiege und den Stoffwechsel steigere. Es

¹ Der Redaction am 25. August 1900 zugegangen.

² Magnus-Levy, *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1893. Bd. LV. S. 1 bis 126. In dieser Abhandlung findet sich auch eine vollständige Uebersicht der früheren Arbeiten, weshalb ich eine Zusammenstellung derselben hier unterlassen kann.

wäre also zu untersuchen, wie sich der Stoffwechsel nach Nahrungsaufnahme gestaltet, wenn nicht allein alle willkürlichen Muskelbewegungen, sondern auch der Muskeltonus thunlichst aufgehoben ist.

Auf Veranlassung von Herrn Prof. Tigerstedt habe ich eine derartige Versuchsreihe durchgeführt. Behufs einer genauen Controle der Muskulatur diente ich selbst als Versuchsperson.

Die Versuche fanden unter Anwendung des hiesigen grossen Respirationsapparates statt; dabei wurde die Kohlensäureabgabe in Perioden von je 1 Stunde und in einigen Versuchen auch die Stickstoffabgabe im Harn für Perioden von je 2 Stunden (nach Kjeldahl) bestimmt. Während der Versuchszeit lag ich vollständig angezogen auf einem Bett und beobachtete sorgfältig, dass keine willkürlichen Muskelbewegungen ausgeführt wurden, sowie dass der Muskeltonus thunlichst aufgehoben war.¹ Die Entnahme der ersten Luftprobe fand erst dann statt, wenn ich 5 bis 10 Minuten lang im Bette gelegen hatte.

Als Ausgangspunkt einer Untersuchung, wie der vorliegenden, muss natürlich festgestellt werden, wie sich der Stoffumsatz verhält, wenn die Einwirkung der letzten Mahlzeit vorüber gegangen ist (Nüchternwerth).

Betreffend diese Frage hat Magnus-Levy beim Menschen bei frei gewählter Kost gezeigt, dass der Gaswechsel den Nüchternwerth zumeist sicher nach 12 bis 14 Stunden (meist schon viel eher) erreicht.² Auch die N-Abgabe im Harne erreicht nach den Erfahrungen Rosemann's etwa nach 12 Stunden den Nüchternwerth.³

Auf Grund dieser Erfahrungen habe ich meine Versuche immer erst 12 Stunden oder mehr nach der letzten Nahrungsaufnahme angefangen.

Die Verdauung und die davon abhängigen Veränderungen des Stoffwechsels dauern bekanntlich mehrere Stunden. Indess ist es nicht gut möglich, eine so lange Zeit hindurch vollständig unbeweglich zu liegen. Nun haben aber Magnus-Levy⁴ und Johansson⁵ gezeigt, dass die Tageszeit an sich einen ausserordentlich geringen Einfluss auf den Gaswechsel ausübt. Für meine Aufgabe war es daher ganz gleichgültig, zu welcher Tageszeit die Versuche ausgeführt wurden — vorausgesetzt, dass die übrigen Versuchsbedingungen ganz unverändert waren. Da ferner, wie Johansson nachgewiesen hat, der Stoffwechsel

¹ Vgl. Johansson, *Dies Archiv.* 1898. Bd. VIII. S. 85.

² Magnus-Levy, a. a. O. S. 23.

³ Rosemann, *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1896. Bd. LXV. S. 354. 360.

⁴ Magnus-Levy, a. a. O.

⁵ Johansson, *Dies Arch.* 1898. Bd. VIII. S. 103.

auch an verschiedenen Tagen, wenn nur die Versuchsbedingungen genau dieselben sind, keine nennenswerthen Schwankungen darbietet, konnten die Versuche, betreffend die Nahrungsaufnahme, auf mehrere Tage vertheilt werden, und zwar so, dass, nach Genuss einer und derselben Menge einer bestimmten Kost, am 1. Tage der Gaswechsel für die 1. und 2. Stunde, am 2. Tage für die 2. und 3. Stunde, am 3. Tage für die 3. und 4. Stunde u. s. w. nach der Nahrungsaufnahme bestimmt wurde. In allen Versuchen wurde die Nahrung etwa 15 bis 20 Minuten vor dem Beginn des Versuches genossen.

Die Versuche wurden für jede Art der Nahrung über so viele Stunden ausgedehnt, dass der Nüchternwerth des Gaswechsels wieder erreicht wurde.

Die Quantität der genossenen Nahrung betrug ihrem Wärme- werthe nach in den verschiedenen Versuchsreihen immer etwa 600 bis 700 Calorien, was etwa dem Viertel meines täglichen Bedarfes entspricht.

I. Bestimmung des Nüchternwerthes.

Der Nüchternwerth des Stoffwechsels wurde durch einige besondere Versuche bestimmt. Die hierbei gewonnenen Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengestellt. Ich bemerke, dass hier ebenso wie im Folgenden die Kohlensäure immer und der Stickstoff in den allermeisten Fällen durch gut übereinstimmende Doppelanalysen bestimmt wurden.

Tabelle I. Der Nüchternwerth.

Nummer des Vers.	Datum	Kohlensäureabgabe; g		N-Abg.; g Zwei Stdn.	Temperatur in der Resp.-Kamm.
		1. Stunde	2. Stunde		
1	4./X. 1899	22.72	21.17	—	17.4°
2	6./X. „	22.69	23.03	—	17.5
3	7./X. „	21.95	21.17	—	17.3
4	20./X. „	23.27	22.27	—	18.0
5	8./XII. „	21.56	22.04	0.770	17.1
6	17./I. 1900	21.91	22.44	0.754	16.7
Mittel:		22.35	22.02	0.762	

Mittel der CO₂-Abgabe pro Stunde 22.18°

Mittel der N-Abgabe „ „ 0.381°

Wie aus dieser Zusammenstellung ersichtlich, variiert die CO₂-Abgabe bei den einzelnen Versuchen, sowie von der 1. zur 2. Stunde

eines und desselben Versuches verhältnissmässig wenig. Das Mittel beträgt 22.18%. Als mittleren Fehler ergibt die Wahrscheinlichkeitsrechnung ± 0.681 ; der wahrscheinliche Fehler der einzelnen Bestimmung beträgt ± 0.460 und der des Mittels ± 0.133 %.

Die N-Abgabe im Harn wurde nur bei 2 Versuchen dieser Reihe bestimmt. In zwei anderen Versuchsreihen, bei welchen der Einfluss des Eiweisses und einer gemischten Kost auf den Stoffwechsel untersucht wurde, wurde aber in 10 Versuchen der Nüchternwerth der N-Abgabe pro 2 Stunden bestimmt. Die betreffenden Werthe sind pro Stunde berechnet bezw. 0.606, 0.317, 0.320, 0.515, 0.484, 0.443, 0.362, 0.362, 0.382 und 0.411. Als Mittel sämmtlicher Beobachtungen ergibt sich für die stündliche N-Abgabe 0.414%.

Um den Gesamtstoffwechsel in Calorien ausdrücken zu können, wäre die Bestimmung der O-Aufnahme in hohem Grade wünschenswerth. Da unser Respirationsapparat eine solche Bestimmung nicht gestattet, muss ich mir damit genügen lassen, gewisse Grenzwerte zu berechnen.

Bei der Verbrennung des Eiweisses geht ein gewisser Theil des Kohlenstoffes als Kohlensäure in die Athmungsluft über; diese Menge beträgt 2.61% C pro 1% N im Harn. Der übrig bleibende Kohlenstoff entstammt entweder Fett oder Kohlehydraten.

Nun ist es aber ein nicht geringer Unterschied, ob dieser Kohlenstoff aus der einen oder der anderen Quelle kommt; 1% C aus Fett hat nämlich einen Verbrennungswerth von 12.3 Calorien, 1% C aus Kohlehydraten (Rohrzucker) einen von nur 9.5 Calorien.

Was nun aber die jetzt vorliegende Versuchsreihe betrifft, so ist es ganz sicher, dass der aus N-freien Nahrungsstoffen entstammende Rest des Kohlenstoffes zum grössten Theil nicht aus Kohlehydraten, sondern aus Fett herrührt, da ja die Versuchsperson mindestens zwölf Stunden vor dem Versuche gefastet hatte. Ich werde daher diesen Kohlenstoff als aus Fett entstammend betrachten, bemerke aber ausdrücklich, dass hierdurch ein etwas zu hoher Werth erhalten wird.

Auch der Umstand, dass nicht bei allen Versuchen auch die N-Abgabe bestimmt worden ist, bedingt eine gewisse Ungenauigkeit, welche indess von einer nur geringen Bedeutung ist. Wenn nämlich nur Eiweiss und Fett im Körper verbrennen, so ruft eine Zunahme der N-Abgabe um 0.1% eine Abnahme des berechneten Gesamtstoffwechsels um etwa 0.6 Cal. hervor; wenn aber Eiweiss und Kohlehydrate verbrennen, entspricht der Zunahme der N-Abgabe um 0.1% eine Zunahme des berechneten Gesamtstoffwechsels um 0.2 Cal. Oder mit anderen Worten, der Fehler in der Berechnung des Gesamt-

stoffwechsels, welcher dadurch bedingt wird, dass die N-Abgabe nicht bei allen Versuchen bestimmt wurde, beträgt pro 0.1^s N höchstens 0.6 Cal. Wie die oben angeführten Zahlen zeigen, dürfte die in einem einzelnen Versuch abgegebene stündliche N-Menge höchstens um etwa 0.2^s vom Mittel abweichen, d. h. der hierdurch entstehende Fehler in der Berechnung des Gesamtstoffwechsels kann in *maximo* nur etwa 1.2 Cal. betragen und wahrscheinlich auch nicht diesen Werth erreichen.

Als Nüchternwerth für die stündliche Abgabe von N und C erhielten wir 0.414^s N und 6.05 ± 0.19^s C.¹

Den 0.414^s N entsprechen in der Athmungsluft 1.08^s C; es bleiben also 4.97^s C aus N-freien Nahrungsstoffen. In der Athmungsluft entspricht 1^s C aus Eiweiss 10.2 Cal.; 1^s C aus Fett 12.3 Cal. Der Nüchternwerth des Gesamtstoffwechsels beträgt also (11.0 + 61.1 =) 72.1 ± 2.3 Cal., welche Zahl indess aus schon angegebenen Gründen als etwas zu hoch aufgefasst werden muss.

Da mein Körpergewicht zur Zeit dieser Versuche 64^{kg} betrug, so erhalten wir pro Kilogramm und Stunde 1.13 ± 0.04 Cal., was mit den früheren Ermittlungen über den Stoffwechsel bei Hunger und vollständiger körperlicher Ruhe gut übereinstimmt.

II. Der Stoffwechsel nach Aufnahme von Fett.

Bei Fettfütterung fand Magnus-Levy, dass (beim Hunde) bei einer den Bedarf nicht überschreitenden Zufuhr die Erhöhung des Sauerstoffverbrauches sehr gering und nur in der 5. bis 9. Stunde in Höhe von etwa 10 Proc. deutlich sichtbar ist. Wenn die Fettzufuhr den Bedarf um etwa 150 bis 200 Proc. überstieg, blieb die Steigerung dennoch sehr gering, obgleich sie länger dauerte, da ja bei so grossen Fettmengen auch die Resorption sehr lange dauert.²

Diese Resultate stimmen mit denjenigen, die Rubner schon früher erhalten hatte, ziemlich genau überein. Als Rubner einen Hund mit einer nicht ganz ausreichenden Menge Butterfett fütterte, fand er eine Steigerung der CO₂-Abgabe um nur 5 bis 6 Proc. Bei einer sehr abundanten Kost stieg die Wärmeproduction um 19 Proc. u. s. w.³

Auch Pflüger ist durch seine Erfahrungen zu dem Resultate gekommen, dass der Stoffwechsel (beim Hunde) am kleinsten ist, wenn

¹ Mittlerer Fehler.

² Magnus-Levy, a. a. O. S. 89.

³ Rubner, *Beiträge zur Physiol.*, C. Ludwig gew. 1887. S. 259. — *Zeitschr. f. Biol.* 1888. XIX. S. 828 fig.

das Thier keine Nahrung erhält oder Fett und Kohlehydrate ohne Fleisch.¹

Der Einfluss der Fettaufnahme auf den Stoffwechsel des Menschen ist auch von Magnus-Levy experimentell untersucht worden. Bei sehr grossen, kaum als normal zu bezeichnenden Fettgaben (210^g Speck oder Butter) beobachtete er eine Steigerung des O-Verbrauches, die mit der 8. Stunde noch nicht beendet war. Die Steigerung war aber nur gering und bei Aufnahme von kleineren Fettmengen (100^g Speck) ganz unbedeutend.² Dasselbe hatte auch Smith gefunden; seine Versuche erstreckten sich aber nur auf die ersten zwei Stunden, und die Fettaufnahme betrug nur etwa 30^g.³

Auch meine Versuche zeigen unzweideutig, dass die Aufnahme nicht zu grosser Fettmengen keine Steigerung des Stoffwechsels bewirkt.

Bei den hierher gehörigen Versuchen genoss ich eine Kost, welche aus 75^g Butter und 17^g Cakes bestand und 2.28^g Eiweiss, 65.6^g Fett, 13.3^g Kohlehydrate (= 673.9 Cal.) enthielt.⁴

Wie bei allen meinen Versuchen dehnte sich jeder einzelne Versuch über zwei Stunden aus; hier wie im Folgenden stelle ich die Versuchsergebnisse in zwei Reihen zusammen. Die erste Reihe enthält die CO₂-Abgabe für die erste Stunde jedes einzelnen Versuches, die zweite die für die zweite Stunde.

Tabelle II. Die CO₂-Abgabe nach Fettaufnahme.

Reihe I.				Reihe II.				Temp. in der Respirations- kammer	
Versuchs-		Stde. nach der Nahr- aufnahme	CO ₂ - abgabe g	Vers.-Nr.	Stde. nach der Nahr- aufnahme	CO ₂ - abgab. g	Mittel		
Nr.	Datum							Rhe. I	Rhe. II
7	24./X. 1899	1.	22.10	—	—	—	22.10	19.5°	—
8	26./X. "	2.	21.29	7	2.	22.40	21.85	20.1	20.1°
9	28./X. "	3.	21.37	8	3.	20.08	20.73	19.5	20.2
10	2./XI. "	4.	21.13	9	4.	23.43	22.28	18.8	20.6
11	3./XI. "	5.	20.93	10	5.	21.33	21.13	18.4	18.8
12	4./XI. "	6.	20.98	11	6.	22.87	21.93	18.7	18.3
—	—	—	—	12	7.	20.05	20.05	—	18.5

¹ Pflüger's *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1899. LXXVII. S. 459.

² Magnus-Levy, a. a. O. S. 44.

³ Smith, *Philosophical transactions.* 1859. S. 715 fig.

⁴ Die Zusammensetzung der benutzten Nahrungsmittel ist nach Analysen von mir:

	Eiweiss	Fett	Kohlehydrate
Butter	1.28 Proc.	84.6 Proc.	0.9 Proc.
Cakes	7.75 „	12.6 „	74.4 „

Bei diesen Versuchen wurde die N-Abgabe im Harn nicht bestimmt. Da indessen die N-Zufuhr in der Kost nur 0.365 g betrug, so kann bei der Berechnung des Gesamtstoffwechsels kein nennenswerther Fehler daraus entstehen, wenn wir hier die stündliche N-Abgabe gleich dem Nüchternwerthe setzen. Unter dieser Voraussetzung und wenn wir annehmen, dass ausser Eiweiss nur Fett im Körper verbrannt worden ist, erhalten wir folgende Werthe für den Gesamtstoffwechsel für die einzelnen Stunden nach der Nahrungsaufnahme. (Bei dieser Berechnung benutze ich die in Tab. II enthaltenen stündlichen Mittelwerthe.)

Tabelle III. Der Gesamtstoffwechsel nach Fettaufnahme.

Stunde	Calorien
1.	71.9
2.	71.0
3.	67.8
4.	72.5
5.	68.6
6.	71.8
7.	65.0

Wie aus dieser Zusammenstellung ersichtlich, sind die bei den vorliegenden Versuchen stattfindenden Variationen im Grossen und Ganzen nur gering. Als Mittel erhalten wir 69.8 ± 3.5 Cal. Die Wahrscheinlichkeitsberechnung der Versuche über den Nüchternwerth ergab als mittleren Fehler ± 2.3 Cal. Die Schwankungen des Gesamtstoffwechsels während der ersten 7 Stunden nach Fettaufnahme sind also nur unerheblich grösser, als die im nüchternen Zustande.

Mein Versuchsplan gestattete es selbstverständlich nicht, vor jedem Versuch den Nüchternwerth zu bestimmen, denn es war ja nicht möglich, 4 Stunden lang ohne Unterbrechung ganz ruhig zu liegen. Zum Vergleich muss daher der aus den schon angeführten Versuchen berechnete Nüchternwerth dienen. Dieser betrug 72.1 ± 2.3 Cal., ist also in der That etwas grösser, als das Mittel des Stoffwechsels nach Fettaufnahme.

Auch wenn wir die in der Tab. III aufgenommenen einzelnen Werthe berücksichtigen, finden wir dasselbe bestätigt, denn unter diesen findet sich nur ein einziger (4. Stunde), der etwas grösser als der mittlere Nüchternwerth ist, und die Differenz (0.4 Cal.) fällt ausserdem vollständig innerhalb der Fehlergrenzen.

Sogar das Minimum aller Nüchternwerthe (Versuch 1: 2. Stunde 68·7 Cal.) ist grösser als die für die 3., 5. und 7. Stunde nach Fettaufnahme erhaltenen.

Ja, auch wenn man nicht die stündlichen Mittelwerthe, sondern die einzelnen Beobachtungen berücksichtigt, so findet man, dass nur in drei Fällen (Reihe II, 2., 4. und 6. Stunde) der Stoffwechsel nach Fettaufnahme grösser, als der mittlere Nüchternwerth ist; die Differenzen sind übrigens ganz unbedeutend, nämlich 0·7, 4·2 bzw. 2·3, und auch bei den Nüchternwerthen kommen ebenso grosse Zahlen vor (Versuch 1: 1. Stunde, Versuch 2: 1. und 2. Stunde, Versuch 4: 1. Stunde, Versuch 6: 2. Stunde). Die Differenzen in Bezug auf den mittleren Nüchternwerth betragen hier 1·9, 1·7, 2·8, 3·7 und 0·9 Cal.

Aus diesem allen folgt also, dass die Aufnahme einer Fettmenge, die etwa dem Viertel des täglichen Bedarfes an Calorien entspricht, bei vollständig ruhendem Körper keine Steigerung des Gesamtstoffwechsels hervorruft.

Im Gegentheil konnte man sagen, dass der Gesamtstoffwechsel unter dem Einflusse der Fettaufnahme herabsinke. Es ist indess zu bemerken, dass der Nüchternwerth unter der Annahme berechnet worden ist, dass nebst Eiweiss nur Fett im Körper verbrenne. Wie aber schon hervorgehoben wurde, ist diese Annahme nicht ganz richtig, denn es müssen ja auch nach einem zwölfstündigen Fasten noch Kohlehydrate an der Verbrennung theilnehmen, und der Nüchternwerth ist also etwas zu hoch berechnet. Auf der anderen Seite ist es wohl möglich, dass nach einer reichlichen Fettzufuhr (65·6⁵) das Fett die Kohlehydrate in grösserem Umfange als beim Hungern aus dem Stoffwechsel verdrängt und dass also die hier gefundene Abnahme desselben nur eine scheinbare ist. (Der Gehalt der Kost an Eiweiss und Kohlehydraten war so gering, dass deren Einfluss wohl ganz vernachlässigt werden kann.)

III. Der Stoffwechsel nach Aufnahme von Kohlehydraten.

Bei Versuchen am Hunde, bei denen Kohlehydrate in reichlicher Menge allein oder vorwiegend verfüttert wurden, beobachtete Magnus-Levy schon in den beiden ersten Stunden eine sehr erhebliche Zunahme des O-Verbrauches, welche dann weiter bis zu einem Maximum von 39 Proc. in der 6. bis 8. Stunde anstieg. Bis zur 11. Stunde sank der Sauerstoffverbrauch wieder sehr langsam und fiel dann schneller, so dass von der 14. und 15. Stunde ab die erhaltenen Werthe nur um wenige Procente die Nüchternwerthe übertrafen. Zu

gleicher Zeit mit dieser Steigerung des Gaswechsels ging auch der respiratorische Quotient in die Höhe; dies geschah bereits in der ersten Stunde, was zeigt, dass die Kohlehydrate, einmal resorbirt, auch sofort am Stoffwechsel theilnehmen, und dass sie, genügend reichlich zugeführt, das Körperfett ganz aus demselben zurückdrängen.

Auch bei geringeren Gaben von Kohlehydraten trat eine deutliche, aber natürlich geringere Steigerung des Gaswechsels ein. Wie in den Versuchen mit grösseren Reismengen trat auch hier die Steigerung des Sauerstoffverbrauches bereits in der 1. Stunde der Verdauung ein; ein Maximum von 12 bis 20 Proc. wurde in der 6. bis 8. Stunde erreicht, wonach der Gaswechsel wieder herabsank.

Die Wirkung der Kohlehydrate auf den Menschen betreffend hat Magnus-Levy eine Versuchsreihe mitgetheilt, wo hauptsächlich Brod, und eine andere, wo Rohr- und Traubenzucker verabreicht wurde.

In der ersten Reihe zeigte sich nach Aufnahme einer kleinen Ration (85^g Weissbrod) während zweier Stunden eine Steigerung des Sauerstoffverbrauches um 11 bis 16 Proc., die in der 3. und 4. Stunde kaum mehr sichtbar war. In den Versuchen, bei welchen 295 bis 345^g Brod (= 140 bis 160^g Stärke) verzehrt wurden, war der Sauerstoffverbrauch in den ersten 3 Stunden bis um 33 Proc. erhöht; in der 3. Stunde sank die Curve meist schon ab, um in der 4. und 5. Stunde ziemlich die ursprüngliche Höhe zu erreichen. Dann begann ein neuer Anstieg während mehrerer Stunden, der zwar nur klein war, aber doch regelmässig wiederkehrte.

Viel erheblicher als der O-Verbrauch nahm die CO₂-Abgabe zu. In Folge dessen wächst der respiratorische Quotient bereits in der ersten Stunde, geht indess über den Werth von 0.90 bis 0.91 nicht hinaus.

In den Versuchen mit Rohr- oder Traubenzucker wurden 65 bis 155^g verzehrt. Wo grössere Mengen Zucker gegeben wurden, war der O-Verbrauch in den ersten Stunden deutlich gesteigert, indess etwas weniger, als in den entsprechenden Brodversuchen. Wo geringere Mengen Zucker verzehrt wurden, betrug die Zunahme des O-Verbrauchs nur wenige Procente.

Von einigen von Hanriot ausgesprochenen Ansichten ausgehend, erörtert Magnus-Levy¹ endlich die Frage, inwiefern die genossenen Kohlehydrate sofort verbrennen, oder ob sie zum Theil der Verbrennung zunächst entzogen werden, und kommt nach einer im Original

¹ Magnus-Levy, a. a. O. S. 46 bis 68.

nachzulesenden Discussion zu dem Resultate, dass letzteres in der That der Fall ist.

Die Versuche, welche ich in dieser Richtung ausgeführt habe, beziehen sich nur auf Rohrzucker, und zwar genoss ich bei jedem Versuche genau $160^g = 656 \text{ Cal.}$

Die von mir gewonnenen Resultate sind in folgender Tabelle aufgenommen. Dieselbe ist nach demselben Princip wie die Tab. II aufgestellt.

Tabelle IV. Die CO_2 -Abgabe nach Aufnahme von Rohrzucker.

Reihe I				Reihe II			Temperatur in der Resp.-Kammer	
Versuchs-		Stde. nach der Nahr- aufnahme	CO_2 - Abgabe g	Vers.-Nr.	Stde. nach der Nahr- aufnahme	CO_2 - Abg. g	Mittel	
Nr.	Datum							Reihe I Reihe II
13	7./XI. 1899	1.	26.30	—	1.	—	26.30	19.5° —
14	8./XI. „	2.	30.27	13	2.	28.10	29.19	18.3 19.8°
15	10/XI. „	3.	25.72	14	3.	27.86	26.79	18.8 18.3
16	11./XI. „	4.	20.03	15	4.	21.70	20.87	17.9 19.5
17	13./XI. „	5.	19.47	16	5.	20.78	20.10	18.9 17.7
18	14./XI. „	6.	21.34	17	6.	22.35	21.85	18.4 18.8
—	—	—	—	18	7.	21.82	21.82	— 19.6

Das Mittel der CO_2 -Abgabe in nüchternem Zustande betrug 22.18^g . Aus obiger Tabelle geht also ohne Weiteres hervor, dass von der 4. Stunde an die CO_2 -Abgabe nach Aufnahme von Rohrzucker auf den Nüchternwerth schon herabgesunken ist.

Dagegen zeigt sich während der ersten 3 Stunden eine beträchtliche Zunahme der CO_2 -Abgabe, und zwar beträgt sie dem Nüchternwerthe gegenüber im Mittel 4.12 , 7.01 bzw. 4.61^g .

Unter den Versuchen Magnus-Levy's findet sich einer, der mit dem vorliegenden genau vergleichbar ist, indem hier fast ebenso viel Rohrzucker (155^g) verzehrt wurde. Ich stelle diese Versuche in der folgenden Tabelle neben einander.

Die CO_2 -Abgabe ist in Magnus-Levy's und in meinen Versuchen während der ersten 3 Stunden fast ebenso gross; die procentuale Steigerung aber bei Magnus-Levy grösser als bei mir, da sein Nüchternwerth etwas niedriger liegt, als der meinige. Von der 4. Stunde an begegnen wir aber einer deutlichen Differenz, indem bei mir die Wirkung des Rohrzuckers schon vorübergegangen war, während sie bei Magnus-Levy, obgleich mit stark abnehmender Intensität, noch

Stunde	CO ₂ -Abgabe	
	Magnus-Levy	Koraen
Nüchternwerth	20.75	22.18
1.	27.57	26.30
2.	26.78	29.19
3.	26.64	26.79
4.	27.99	20.87
5.	21.20	20.10
6.	22.59	21.85
7.	—	21.82

deutlich hervortritt. Die Ursache dieses Unterschiedes könnte möglicher Weise darin liegen, dass die Versuchsperson Magnus-Levy's nicht die ganze Versuchsdauer hindurch eine vollständige Muskelruhe hat beobachten können. Vielleicht ist sie auch dadurch bedingt, dass gerade von der 4. Stunde an die Beobachtungsdauer bei Magnus-Levy nur 13 bis 15 Minuten betrug, während die Zahlen für die früheren 3 Stunden sich auf Beobachtungszeiten von 38, 44 bezw. 30 Minuten stützen.

Unter der Annahme, dass die N-Abgabe im Harn dem oben berechneten Mittel 0.414^s entspricht, habe ich den Gesamtstoffwechsel bei den dieser Reihe zugehörigen Versuchen berechnet. Da es sich aber nicht entscheiden lässt, in wiefern der aus N-freien Nahrungstoffen entstammende Kohlenstoff aus Fett oder Kohlehydraten herkommt, habe ich zwei Grenzwerte berechnet, nämlich 1. unter der Annahme, dass dieser Kohlenstoff aus Fett, und 2. unter der Annahme, dass er aus Kohlehydraten herkommt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in der Tab. V enthalten.

Die sub II für die 4. bis 7. Stunde enthaltenen Zahlen 54.7 u. s. w. sind entschieden zu niedrig, denn sie geben als Mittel nur 55.5 Cal., während der Nüchternwerth 72.1 Cal. beträgt. Für die entsprechenden Stunden geben die sub I aufgeführten Zahlen den mittleren Werth 68.7 Cal. Es ist daher deutlich, dass von der 4. Stunde an die Kohlehydrate in keinem grösseren Umfange, als im nüchternen Zustande am Stoffwechsel theilnehmen.

Ein wie grosser Theil des zugeführten Zuckers zu dieser Zeit noch unverbrannt im Körper geblieben ist, lässt sich allerdings nicht entscheiden, denn ich bewegte mich etwas, wenn auch nicht viel, vor jeder Beobachtungszeit. Also war die Verbrennung z. B. im Versuch 14 während der 1. Stunde nach Aufnahme des Zuckers ohne Zweifel

Tabelle V. Der Gesamtstoffwechsel nach Aufnahme von Rohrzucker.

Stunde	I. Gesamtstoffwechsel, wenn nur Fett und Ei- weiss verbrannt sind	II. Gesamtstoffwechsel, wenn nur Kohlehy- drate und Eiweiss verbrannt sind
	Cal.	Cal.
1.	85.9	68.9
2.	95.6	76.4
3.	87.6	70.2
4.	67.7	54.7
5.	65.1	52.8
6.	71.0	57.4
7.	70.9	57.3
Nüchternwerth	72.1	72.1

grösser, als während der 1. Stunde im Versuch 13, bei welcher ich die vollständige Muskelreihe beobachtete; während der ersten 2 Stunden im Versuche 15 grösser, als während der ersten 2 Stunden im Versuche 13 u. s. w. Aus den Versuchsergebnissen lassen sich daher nicht die zeitlichen Schwankungen des Stoffwechsels im Allgemeinen, sondern nur insofern sie von der Verdauungsarbeit bedingt waren, verfolgen.

Der aufgenommene Zucker hatte einen Verbrennungswerth von etwa 656 Cal. und konnte jedenfalls nicht während der ersten drei Stunden vollständig verbrannt worden sein, denn dann hätte mein Stoffwechsel mehr als 200 Cal. pro Stunde betragen, was absolut unmöglich ist, da ich, wie erwähnt, während der Stunden vor dem Versuche keine grösseren Körperbewegungen machte.

Es musste also während der 4. Stunde wenigstens noch eine nicht ganz unbedeutende Menge von aufgenommenem Zucker im Körper zurückgeblieben sein. Da nun trotzdem, wie aus der Tab. V hervorgeht, der Zucker von der 4. Stunde an nur in einem ganz geringen Grade am Stoffwechsel theilhaftig gewesen ist, so folgt, dass bei vollständig ruhendem Körper der Zucker nicht alles Fett aus dem Stoffwechsel verdrängen kann, sondern zu einem gewissen Theile erspart wird — ein Ergebniss, was mit dem von Hanriot und Magnus-Levy gefundenen in guter Uebereinstimmung steht.

Den Stoffwechsel während der ersten 3 Stunden betreffend, ist es ohne Weiteres ersichtlich, dass die sub I aufgenommenen Zahlen viel zu gross sind, denn es lässt sich gar nicht denken, dass bei einer

reichlichen Zufuhr von Kohlehydraten diese am Stoffwechsel gar nicht theilnehmen würden, und übrigens geht es ja aus früheren Versuchen, bei denen auch die O-Aufnahme bestimmt wurde, ganz deutlich hervor, dass gerade während der ersten Stunden die Kohlehydrate einen wesentlichen Antheil beim Stoffwechsel haben.

Indess ist es wohl kaum erlaubt, anzunehmen, dass die sub II aufgeführten Zahlen an sich ganz richtig sind, denn sie setzen voraus, dass während dieser Stunden gar kein Fett zu Grunde gegangen ist. Diese Zahlen sind also etwas zu niedrig.

Das Mittel für die ersten 3 Stunden beträgt 71.8 Cal. und stimmt also mit dem Nüchternwerthe (72.1 Cal.) genau überein. Da aber, wie bemerkt, dieses Mittel etwas, wenn auch aller Wahrscheinlichkeit nach nicht viel zu gross ist, so folgt, dass die Zufuhr von Kohlehydraten (Rohrzucker) in der hier verwendeten Dosis während der ersten 3 Stunden eine gewisse, wenn auch nach Allem zu urtheilen, nur geringfügige Steigerung des Gesamtstoffwechsels herbeiführt.

Ob diese Steigerung auf Rechnung der Verdauungsarbeit zu setzen ist, oder ob sie davon herrührt, dass die Zufuhr einer reichlichen Menge Zucker den Stoffwechsel an sich, ohne Mitwirkung der willkürlichen Muskelthätigkeit, anregt, lässt sich an der Hand meiner Versuche nicht entscheiden. Wenn wir aber bedenken, dass der Rohrzucker aller Wahrscheinlichkeit nach keine grosse Verdauungsarbeit erfordert, sowie dass der Stoffwechsel nach Fett keine Steigerung erleidet, dürfte die letztere Möglichkeit dennoch etwas wahrscheinlicher sein; die Steigerung des Gesamtstoffwechsels nach Aufnahme von Rohrzucker würde also wesentlich durch Anregung zu einer stärkeren Verbrennung zu Stande kommen, und die Verdauungsarbeit an sich den Stoffwechsel in keinem grösseren Umfange steigern, als nach Aufnahme von Fett.

IV. Der Stoffwechsel nach Aufnahme von Eiweiss.

Dass Aufnahme von Eiweiss nicht allein den Eiweissumsatz, sondern auch den Gesamtstoffwechsel steigert, ist eine seit langem bekannte Thatsache, und ich brauche die hierher gehörigen Erfahrungen nicht näher zu erörtern. Ich erwähne nur Magnus-Levy, der bei Versuchen an Menschen nach Zufuhr von 120 bis 310^g gebratenem Rindfleisch eine procentuale Zunahme des Sauerstoffverbrauches dem Nüchternwerthe gegenüber bis zu 32 Proc. beobachtete; das Maximum der Zunahme trat etwa in der 4. Stunde ein.¹

¹ Magnus-Levy, a. a. O. S. 87.

Bei meinen hierher gehörigen Versuchen genoss ich 215^g mageren, gekochten und geräucherten Schinken und $\frac{1}{3}$ Liter Bier, nach meinen Analysen 52^g Eiweiss, 20^g Fett, 12^g Kohlehydrate und 10^g Alkohol (= 525 Cal.) enthaltend.¹ Da nun das Fett, wie schon bemerkt, an sich keine Steigerung des Stoffwechsels bedingt, und andererseits die Beigabe von Kohlehydraten und Alkohol nur eine sehr geringe war, so werden die wesentlichen Veränderungen im Stoffwechsel bei diesen Versuchen nur vom Eiweiss bedingt sein können.

In dieser Reihe wurde vor dem Versuch immer der Nüchternwerth der N-Abgabe im Harn (pro 2 Stunden), sowie während des Versuches selbst die N-Abgabe in Perioden von 2 bis 3 Stunden bestimmt. Die hierbei gewonnenen Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt. Die mit fester Schrift gedruckten Zahlen beziehen sich auf die Perioden, während welcher auch die Kohlensäureabgabe in der schon erwähnten Weise bestimmt wurde.

Tabelle VI. Die N-Abgabe im Harn bei den Versuchen über den Einfluss der Eiweissaufnahme auf den Stoffwechsel.

Versuchs-		Nüchternwerth (2 Stdn.)	Stunde nach der Nahrungsaufnahme								
Nr.	Datum		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1899										
23	29./XI.	1.212	1.728			3.041			2.497	—	—
19	20./XI.	0.634	0.592	2.001		—	—	—	—	—	—
20	21./XI.	0.639		1.168	1.912		—	—	—	—	—
21	24./XI.	1.029		2.332		2.128		—	—	—	—
22	25./XI.	0.967	1.580			2.093		2.326		—	—
24	6./XII.	0.886	1.348			1.903		2.042	1.993		—
25	7./XII.	0.723	1.398			1.944		3.012		1.980	

Als Mittel der in dieser Tabelle verzeichneten Angaben erhalten wir folgende Zahlen (s. nächste Seite).

Wie die Specialtabelle VI zeigt, sind die bei den einzelnen Versuchen stattfindenden Variationen ziemlich gering.

Die Menge des genossenen Stickstoffes beträgt in allen Versuchen

¹ Die Analysen ergaben:

	Eiweiss	Fett	Kohlehydrate	Alkohol
Schinken	23.44 Proc.	9.4 Proc.	— Proc.	— Proc.
Bier	0.47 „	— „	3.58 „	3.10 „

		Zuwachs pro Stunde	
Für die	1. Stunde	0.592 g N	
" " 1.—2.	"	1.443	— 0.851
" " 1.—3.	"	2.463	— 1.020
" " 1.—4.	"	3.335	— 0.872
" " 1.—5.	"	4.615	— 1.280
" " 1.—6.	"	5.646	— 1.031
" " 1.—7.	"	6.818	— 1.172
" " 1.—8.	"	7.286	— 0.468
" " 1.—9.	"	8.329	— 1.043

8.3 g. Diese Menge wird innerhalb 5 Stunden zur Hälfte und innerhalb 9 Stunden vollständig aus dem Körper ausgeschieden.

Die CO₂-Abgabe ist nach demselben Princip wie in den entsprechenden früheren Tabellen in der Tab. VII zusammengestellt.

Tabelle VII. Die CO₂-Abgabe nach Aufnahme von Eiweiss.

Reihe I				Reihe II			Temperatur in der Resp.-Kammer	
Versuchs-		Stde. nach der Nahr- aufnahme	CO ₂ - Abgabe g	Vers.-Nr.	Stde. nach der Nahr- aufnahme	CO ₂ - Abg. g	Mittel	
Nr.	Datum							
23	29./XI. 1899	1.	26.17	—	—	—	26.17	19.5°
19	20./XI. "	2.	25.20	23	2.	26.64	25.92	19.5
20	21./XI. "	3.	27.55	19	3.	28.88	28.22	19.6
21	24./XI. "	4.	28.80	20	4.	27.54	28.17	20.6
22	25./XI. "	5.	24.01	21	5.	26.14	25.08	21.4
23	29./XI. "	6.	26.70	22	6.	24.54	25.62	20.8
24	6./XII. "	7.	22.02	23	7.	24.14	23.08	21.1
25	7./XII. "	8.	21.54	24	8.	23.38	22.46	19.0
—	—	—	—	25	9.	22.68	22.68	—

Schon aus dieser Tabelle geht hervor, eine wie bedeutende Steigerung die Eiweissaufnahme verursacht. Während der Nüchternwerth der CO₂-Abgabe 22.18 beträgt, finden wir hier während der 1. bis zur 6. Stunde Zahlen, die sich zwischen 28.2 und 25.6 bewegen. Erst von der 7. oder 8. Stunde an begegnen wir dem Nüchternwerthe der CO₂-Abgabe wieder.

Es war nicht möglich, die N-Abgabe im Harn für jede Stunde zu bestimmen, denn in diesem Falle hätte ja die Versuchsperson mitten im Versuche vom Bette aufstehen müssen. Da also die N-Abgabe nur für Perioden von je 2 Stunden bestimmt wurde, so musste die Berechnung des Gesamtstoffwechsels in einer anderen Weise als

bisher, und zwar für die 1. und 2., die 2. und 3. Stunde u. s. w. stattfinden.

Wie schon bemerkt, war die Zufuhr von Kohlehydraten so gering, dass sie bei der Berechnung des Stoffwechsels keine weitere Bedeutung haben kann. Was den Alkohol betrifft, so ist es möglich, dass derselbe statt Fett zu Grunde gegangen ist. Wenn ich dessen ungeachtet alles C aus N-freiem Material als Fett berechne, so geschieht dies darum, weil ich gar keine Anhaltspunkte besitze, um den Antheil des Alkohols bei der Verbrennung in diesem Versuche festzustellen. Uebrigens kann der hierdurch entstehende, jedenfalls geringe Fehler nur in der Richtung einwirken, dass der Gesamtstoffwechsel zu niedrig gefunden wird, denn 1^g C aus Alkohol ist gleich 13.4 Cal., während 1^g C aus Fett nur 12.3 Cal. entspricht.

Wir erhalten also:

Tabelle VIII. Der Gesamtstoffwechsel nach Aufnahme von Eiweiss pro Stunde.

Vers.-Nr.	Stunde	Mittlere CO ₂ -Abg. g	N- Abgabe g	Calorien		Summa
				aus Eiweiss	aus Fett	
23	1. u. 2.	26.40	0.864	23.0	60.8	83.8
19	2. u. 3.	27.04	1.000	26.6	58.6	85.2
20	3. u. 4.	27.54	0.956	25.5	61.6	87.1
21	4. u. 5.	27.47	1.064	28.3	57.9	86.2
22	5. u. 6.	24.26	1.163	31.0	44.9	75.0
23	6. u. 7.	25.42	1.249	38.3	45.1	78.4
24	7. u. 8.	22.70	0.996	26.5	44.2	70.7
25	8. u. 9.	22.11	0.990	26.4	42.4	68.8

Der Nüchternwerth beträgt 72.1 Cal. Wir finden also, dass der Gesamtstoffwechsel während der 5 bis 6 ersten Stunden nach der Eiweissaufnahme eine unverkennbare Steigerung darbietet. Diese Steigerung hat ihr Maximum während der 3. bis 4. Stunde und sinkt von da ziemlich schnell wieder herab.

Wie bereits bemerkt, erschien schon während der ersten 5 Stunden von dem zugeführten Stickstoff (8.3^g) mehr als die Hälfte (4.6^g) im Harn. Der Gesamtstoffwechsel während dieser 5 Stunden betrug nach der Tab. VIII in Summa etwa 420 Cal. Dem Nüchternwerthe entsprechend erhalten wir für 5 Stunden $5 \times 72.1 = 360.5$ Cal. Die ersten 5 Stunden nach Aufnahme von Fett haben einen Stoffwechsel von 351.2 Cal.

Die ersten 5 Stunden nach Aufnahme von Kohlehydraten betreffend, lässt sich aus den schon angegebenen Gründen keine bestimmte Zahl angeben, wahrscheinlich beträgt der Gesamtstoffwechsel hier etwas mehr als 350 WE.

Der Stoffwechsel nach Aufnahme von Eiweiss ist also für die ersten 5 Stunden etwa 60 bis 70 Cal. grösser als der Nüchternwerth, bezw. der Stoffwechsel nach Aufnahme von Fett (und Kohlehydraten?).

Wir haben keine Veranlassung, anzunehmen, dass diese Steigerung des Gesamtstoffwechsels nach der Eiweissaufnahme ausschliesslich wenigstens von der Verdauungsarbeit herrühre, da die Aufnahme von Fett und wahrscheinlich auch die von Kohlehydraten keine derartige Steigerung darbietet. Vielmehr scheinen auch diese Versuche für die Hypothese Fick's zu sprechen, dass der stickstoffhaltige Theil des Nahrungseiweisses sehr rasch zerfalle und der in diesem vorhandene Kohlenstoff ausser im Harnstoff zum Theil als Kohlensäure in der Expirationsluft erscheine und so den Zuwachs derselben während der Verdauung bedinge.¹

In der That zeigt die Tab. VIII ganz deutlich, dass die Zunahme des Gesamtstoffwechsels nach der Aufnahme von Eiweiss von der vermehrten Verbrennung des Eiweisses bedingt ist, denn die aus Fett entstehende Wärmemenge ist hier in keinem einzigen Falle grösser, als bei den Versuchen über den Nüchternwerth.

Da nun ferner bei diesen Versuchen ebensowenig, als bei den früheren willkürliche Muskelbewegungen stattgefunden haben, lässt sich die Schlussfolgerung kaum vermeiden, dass die Zufuhr von Eiweiss an sich den Stoffwechsel erregt. Wie die Versuche über den Eiweissumsatz im Allgemeinen schon längst gezeigt haben, lehren auch meine Versuche, dass der Körper bestrebt ist, sich von jedem Ueberschuss an Eiweiss zu befreien.

Gegen meine Berechnungsweise könnte bemerkt werden, dass die N-Abgabe im Harn nicht augenblicklich nach dem Zugrundegehen des entsprechenden Eiweissmoleküls stattfindet. Hierdurch werden aber meine Schlussfolgerungen nur stärker begründet, denn dann wird ja die dem Eiweiss entsprechende Wärmebildung während der ersten Stunden nicht geringer, sondern vielmehr grösser.

Ich will die theoretischen Ueberlegungen nicht noch weiter ausführen, bemerke aber zum Schlusse, dass auch meine Erfahrungen zeigen, einen wie grossen Einfluss auch die Qualität der Kost auf den

¹ Fick, *Sitzungsber. d. Würzburger physik.-med. Gesellsch.* 21. Dec. 1889.

Stoffwechsel ausübt, und dass sie die hierauf sich beziehenden Betrachtungen Ekholm's¹ direct unterstützen.

V. Der Stoffwechsel nach Aufnahme von gemischter Kost.

Da keine der bis jetzt mitgetheilten Versuchsreihen einen unzweideutigen Beweis dafür gegeben hätte, dass die Verdauungsarbeit an sich einen deutlich nachweisbaren Einfluss auf den Gesamtstoffwechsel ausübt, stellte ich noch eine Versuchsreihe an, bei welcher ich eine Kost aus ziemlich schwer verdaulichen Nahrungsmitteln genoss. Diese Kost sollte zu gleicher Zeit möglichst geringe Mengen von Eiweiss enthalten, damit der Einfluss dieses Nahrungstoffes nicht die Resultate der Versuchsreihe trüben könnte.

Die Versuchskost bestand also aus 250^g ungekochten, gelben Rüben, 125^g grobem, hartem Roggenbrod (sog. „Spisbröd“) und 20^g Butter. Insgesamt enthielt diese Kost nach meinen Analysen etwa 20^g (vegetabilisches) Eiweiss, 19^g Fett und 113^g Kohlehydrate² (incl. Cellulose u. s. w.) = 725 Cal.

Die N-Abgabe im Harn ist aus der folgenden Tabelle ersichtlich.

Tabelle IX. Die N-Abgabe im Harn bei den Versuchen mit gemischter, schwer verdaulicher Kost.

Nr.	Versuchs-Datum	Nüchternwerth (2 Stdn.)	Stunde nach der Nahrungsaufnahme						
			1	2	3	4	5	6	7
26	18./I. 1900	0.723	1.301		0.695	1.089		—	—
27	20./I. „	0.763	0.585	1.345		1.148		—	—
28	23./I. „	0.821	1.325		1.331		0.601	0.980	

Als Mittel der in dieser Tabelle verzeichneten Angaben erhalten wir:

			Zuwachs pro Stde.	
für die	1. Stunde	0.585	— 0.728	
„ „	1.—2. „	1.313	— 0.650	
„ „	1.—3. „	1.963	— 0.693	
„ „	1.—4. „	2.656	— 0.484	
„ „	1.—5. „	3.140	— 0.549	
„ „	1.—7. „	4.237		

¹ Ekholm, *Dies Archiv.* 1900. Bd. XI. S. 84.

² Die Analysen ergaben:

	Eiweiss	Fett	Kohlehydrate (incl. Cellulose)
Brod	14.5 Proc.	2.0 Proc.	71.59 Proc.
Gelbe Rüben	0.94 „	— „	9.18 „
Skandin. Archiv. XI.			13

Die Menge des genossenen Stickstoffes beträgt 3.2^g. Diese Menge ist innerhalb etwa 5 Stunden vom Körper ausgeschieden worden.

Die CO₂-Abgabe ist nach demselben Princip wie in den früheren Tabellen in der Tab. X zusammengestellt.

Tabelle X. Die CO₂-Abgabe nach Aufnahme von gemischter, schwer verdaulicher Kost.

Reihe I				Reihe II				Temperatur in der Resp.-Kammer	
Versuchs-		Stde. nach der Nahr- Aufnahme	CO ₂ - Abgabe g	Vers.-Nr.	Stde. nach der Nahr- Aufnahme	CO ₂ - Abg. g	Mittel	Reihe I Reihe II	
Nr.	Datum								
26	18./I. 1900	1.	25.65	—	—	—	25.65	19.6°	—
27	20./I. „	2.	23.87	26	2.	25.50	24.69	20.6	20.1°
28	23./I. „	3.	24.66	27	3.	23.26	23.96	19.3	20.9
26	18./I. „	4.	23.84	28	4.	23.33	23.59	19.6	19.9
27	20./I. „	5.	22.86	26	5.	22.34	22.60	19.8	19.0
28	23./I. „	6.	22.24	—	—	—	22.24	19.7	—
—	—	—	—	28	7.	21.50	21.50	—	20.2

In dieser Versuchsreihe finden wir eine Steigerung der CO₂-Abgabe, die indess lange nicht so bedeutend ist, wie die nach Aufnahme von Eiweiss erscheinende, was seinerseits auch für die schon dargestellte Schlussfolgerung spricht, dass die in der 4. Versuchsreihe beobachtete Steigerung des Stoffwechsels wesentlich von der durch das Eiweiss an sich bedingten Zunahme des Verbrennungsprocesses hervorgerufen ist.

Bei der Berechnung des Stoffwechsels in Calorien muss ich aus den schon angegebenen Gründen in derselben Weise wie im Abschnitt IV verfahren. Ich berechne hier, wie im Abschnitt III, die Resultate 1. unter der Annahme, dass ausser Eiweiss nur Fett, und 2. unter der Annahme, dass ausser Eiweiss nur Kohlehydrate verbrannt wurden (s. Tab. XI auf folgender Seite).

Wenn wir die Versuche unter der Annahme berechnen, dass ausser Eiweiss nur Fett zu Grunde gegangen ist, so erhalten wir für die ersten Stunden wenigstens eine entschieden zu grosse Zahl für den Gesamtstoffwechsel, denn die Kost enthielt ja über 100^g Kohlehydrate, welche gerade während dieser Stunden verbrannten. Auf der anderen Seite sind die sub II aufgetragenen Zahlen zu klein, da ja der Nüchternwerth 72.1 Cal. beträgt.

Etwa von der 4. Stunde an ist indess der Calorienverbrauch, auch wenn er unter der Voraussetzung berechnet wird, dass (ausser Eiweiss) nur Fett im Körper verbrannt sei, wenig grösser als der Nüchternwerth.

Tabelle XI. Der Gesamtstoffwechsel nach Aufnahme von gemischter, schwer verdaulicher Kost pro Stunde.

Versuchs-Nr.	Stunde	Mittlere CO ₂ - Abgabe	N- Abgabe	I. Gesamtstoffwechsel, wenn nur Fett und Eiweiss verbrannt worden sind	II. Gesamtstoffwechsel, wenn nur Kohlehy- drate und Eiweiss verbrannt worden sind
		g	g	Cal.	Cal.
26	1.—2.	25.57	0.651	82.1	67.4
27	2.—3.	23.56	0.678	75.3	62.3
28	3.—4.	23.99	0.666	76.7	63.3
26	4.—5.	23.09	0.545	74.5	60.9
27	5.	22.86	0.574	73.5	60.2
28	6.—7.	21.87	0.490	70.6	57.5

Aus dieser Versuchsreihe kann also die Frage nach der Einwirkung der Verdauungsarbeit auf den Stoffwechsel nicht bestimmt beantwortet werden; es geht aber aus derselben ganz unzweideutig hervor, dass diese Einwirkung keine sehr bedeutende sein kann, oder richtiger, dass der Stoffwechsel während der Verdauung einer ziemlich schwer verdaulichen Kost nur wenig grösser ist, als beim Hungern.

VI. Zusammenfassung.

Aus den in dieser Arbeit mitgetheilten Versuchen geht also hervor:

1. dass der Gesamtstoffwechsel nach Aufnahme von etwa 66* Fett gar nicht ansteigt;
2. dass der Gesamtstoffwechsel nach Aufnahme von etwa 165* Rohrzucker etwas ansteigt;
3. dass der Gesamtstoffwechsel nach Aufnahme von 52* Eiweiss eine deutliche Zunahme erleidet;
4. dass der Gesamtstoffwechsel nach Aufnahme einer gemischten, verhältnissmässig schwer verdaulichen Kost eine deutliche Zunahme erleidet.

Den Umfang der Zunahme bei Zufuhr von Rohrzucker betreffend, lässt sich aus meinen Versuchen keine bestimmte Zahl aufstellen; es scheint aber, dass diese Zunahme nur eine geringe ist.

Nach Zufuhr von Eiweiss wird der Nüchternwerth etwa zu der 7. Stunde erreicht. Die Steigerung beträgt für die ersten 5 Stunden, dem Nüchternwerthe gegenüber, etwa 60 Cal., d. h. 16·7 Proc., und für die ersten 7 Stunden etwa 67 Cal., d. h. 18·3 Proc.

Nach Aufnahme von gemischter, verhältnissmässig schwer verdaulicher Kost wird der Nüchternwerth etwa zu der 5. Stunde erreicht. Die Steigerung des Gesamtstoffwechsels beträgt für die ersten 5 Stunden, dem Nüchternwerthe gegenüber, höchstens etwa 23 Cal., d. h. 6·4 Proc., und ist aus den schon angegebenen Gründen ganz sicher noch viel geringer.

In der letzten Versuchsreihe enthielt die Kost eine ziemlich beträchtliche Menge Stärke und Cellulose. Da der Gesamtstoffwechsel dessen ungeachtet nur in sehr geringem Umfange dem Nüchternwerthe gegenüber zunahm, folgt, dass die Verdauung von Stärke u. s. w. keine ausgeprägte Steigerung des Gesamtstoffwechsels herbeiführt.

Bei ruhendem Körper tritt also eigentlich nur nach Zufuhr von Eiweiss eine unverkennbare Zunahme des Gesamtstoffwechsels auf. Diese Zunahme dürfte aber kaum auf Rechnung der Verdauungsarbeit zu setzen sein, sondern stellt wohl den Ausdruck der besonderen Eigenschaft des Eiweisses dar, den Stoffwechsel ohne directe Betheiligung von Muskelbewegungen zu erhöhen.

Dass die Verdauungsarbeit an sich gar keine Zunahme der Verbrennung bedinge, will ich indess nicht behaupten, denn es ist ja selbstverständlich, dass die Contraction der Magen- und Darmwand,¹ sowie die Secretion der Drüsen dissimilatorische Processe darstellen, welche unter Entwicklung actualer Energie stattfinden.

Dass der Gesamtstoffwechsel trotzdem keine Zunahme erfährt, kann dann entweder dadurch bedingt sein, dass die Energieentwicklung bei der Verdauungsarbeit zu gering ist, um eine deutliche Steigerung des Stoffwechsels herbeizuführen, oder auch die Verbrennung, wie es sich Rubner² vorstellt, in den übrigen Körpertheilen in entsprechendem Umfange herabgesetzt wird.

Eine bestimmte Entscheidung dieser Frage erlauben meine Versuche nicht, und auch frühere Versuche haben meines Erachtens keinen bindenden Beweis für die eine oder andere Möglichkeit ergeben. Vielleicht sind alle beide an der Erscheinung betheiligt.

¹ Das Kaueu und Schlucken war bei meinen Versuchen insofern ausgeschlossen, dass sie vor dem eigentlichen Beginn des Versuches stattfanden.

² Rubner, *Biol. Gesetze*. Marburg 1887.

Auf der anderen Seite wird es ja ohne Weiteres klar, dass der Verdauungstractus, wenn sehr grosse Anforderungen, wie bei sehr reichlicher und schwer verdaulicher Kost u. s. w., an ihn gestellt werden, diesen nicht ohne einen grossen Aufwand von Energie Genüge leisten kann, und in diesem Falle muss sich die Verdauungsarbeit beim Gesamtstoffwechsel deutlich ausprägen.

Ich bemerke aber, dass diese Eventualität bei einem Menschen, der keine sehr strenge Arbeit auszuführen hat, und dessen Nahrungsbedarf daher kein allzu grosser ist, wohl nur in geringem Umfange eintreten dürfte. War ja das bei meinen Versuchen genossene Quantum seinem Wärmewerthe nach genügend gross, um etwa das Viertel des Tagesbedarfes zu decken. Bei mässiger Nahrungszufuhr und zweckmässiger Vertheilung der Kost auf mehrere Mahlzeiten durfte daher die Verdauungsarbeit an sich keine ausgeprägte Zunahme des Gesamtstoffwechsels bewirken.

In dieser Thatsache, gleichgültig wie sie eigentlich zu deuten ist, finden wir ein neues Beispiel von der grossen Sparsamkeit, mit welcher unser Körper arbeitet.

Was nun endlich die Zunahme des Stoffwechsels betrifft, welche bei jeder Art der Nahrung, auch bei Fett und Kohlehydraten, auftritt, wenn das Individuum nicht die vorsätzliche Muskelruhe beobachtet, so ist sie wohl, wie schon in der Einleitung bemerkt wurde, wesentlich dadurch bedingt, dass die Füllung des Magens nach der Nahrungsaufnahme durch das damit verbundene Gefühl von Wohlbefinden den Muskeltonus reflectorisch steigert. Diese Zunahme des Stoffwechsels würde also die Folge dieses gesteigerten Tonus darstellen.

Ueber ein recreationsähnliches Phänomen bei der Curarewirkung gewisser Gifte.¹

Von

C. G. Santesson und Stud. med. E. Cederlöw.

(Mittheilung aus dem pharmakologischen Laboratorium des Carolinischen Instituts zu Stockholm.)

I. Einleitung.

Der nächste Anlass zu den hier unten zu besprechenden Versuchen wurde durch einige früher hier zufällig gemachte Beobachtungen gegeben.² Es handelte sich dabei um die Nervenendwirkung von Tetramethylammoniumchlorid, das meistens schon in einer Gabe von 0.5^{mg} auf 50^g Körpergewicht (Frosch) in 15 Minuten die motorischen Nervenendigungen vollständig lähmte. Einmal passirte es nämlich, dass ein so behandeltes Präparat nicht sofort nach dem Ausschneiden, sondern erst eine halbe Stunde später untersucht wurde und dabei, jede zweite Secunde mit Inductionsschlägen vom Nerven aus gereizt, eine Reihe von über 800 immerfort an Höhe zunehmender Zuckungen ausführte — also auch nach dieser Anstrengung lange nicht ermüdet war. In einem zweiten Falle (0.4^{mg} des Giftes, 15 Minuten Wirkungs-dauer) zeichnete der Muskel, indirect gereizt, nur 41 Zuckungen, die von 0.8^{mm} bis auf 0.2^{mm} Höhe abnahmen. Nach einer Ruhepause von nur 10 Minuten führte aber dasselbe Präparat nicht weniger als 1195 Zuckungen aus, die anfangs 3.5^{mm} betrugen, nach 530 Zuckungen die Höhe von 6.7^{mm} erreichten und zuletzt noch 2^{mm} hoch waren; das Präparat war also auch am Ende der langen Reihe nicht erschöpft. Diese auffallenden Erscheinungen forderten dazu auf, die Ursache des

¹ Der Redaction am 15. Sept. 1900 zugegangen.

² Vgl. C. G. Santesson und G. Koræen, *dies Archiv*. 1900. Bd. X. S. 222. Tab. III. Observationen *l* und *m*.

eigenthümlichen Phänomens zu erforschen, oder wenigstens etwas näher zu beleuchten zu versuchen.

Schon früher hat der Eine von uns mehrmals ähnliche Beobachtungen gemacht.¹ Bei Versuchen über die Nervenendwirkung methylierter Pyridin-, Chinolin-, Isochinolin- und Thallinverbindungen (auf Frösche) gaben die Präparate anfangs oft nur eine ganz kurze Contractionsreihe; nach einer Pause fiel dieselbe länger aus; später war sie noch länger u. s. w. So z. B. wurden in einem Versuche mit Methylpyridinchlorid (0.05 g auf 50 g Körpergewicht, Wirkungsdauer 30 Minuten) folgende Werthe erhalten:

Zeit	Zahl der Zuckungen bis zur Ermüdung	
12 ^h 1' . . .	50	Unmittelbar nach der Präparation.
12 10 . . .	60	
1 3 . . .	120	
3 9 . . .	180	
4 3 . . .	240	
5 15 . . .	360	

Ganz dieselbe Erscheinung wiesen Versuche mit Strychnin auf, während solche mit Brucin oder mit Curarin (Boehm)² keine solche „Recreation“ ergaben.

Diese Beobachtungen stellten uns nun die Frage: wie kommt es, dass die **circulationslosen** Präparate, die sich nicht durch irgend eine Elimination von dem Gifte befreien konnten, doch mit der Zeit in so auffallendem Maasse sich „erholen“ konnten? Handelte es sich etwa um eine Zerstörung des Giftes in loco oder, trotz der Vergiftung, um eine Steigerung der Reizbarkeit der Präparate?

Ueber die ersterwähnte dieser Möglichkeiten haben wir keine Versuche ausgeführt. Eine schnell verlaufende Zerstörung von z. B. Strychnin in einem circulationslosen Froschgastrocnemius ist an sich wenig wahrscheinlich; auch ist es schwer zu erklären, warum nicht auch das Brucin in derselben Art zerstört worden wäre. Und dazu kommt noch, dass die zweite Möglichkeit schon a priori recht wahrscheinlich ist.

¹ C. G. Santesson, *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* 1894. Bd. XXXV. S. 28. 57.

² R. Boehm, *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* 1894. Bd. XXXV. S. 16. Siehe besonders die Curven S. 21.

Es liegen nämlich mehrere, hauptsächlich ältere Beobachtungen vor, welche zeigen, dass auch normale Nervenmuskelpreparate nach Unterbrechung der Nervenleitung oder nach Aufhebung der Blutzufuhr anfangs eine gesteigerte elektrische Erregbarkeit aufweisen. Und es ist unter solchen Umständen gar nicht unwahrscheinlich, dass auch Nervenendapparate, deren Erregbarkeit durch ein curareähnlich wirkendes Gift herabgesetzt ist, doch diese normal vorkommende Steigerung des Functionsvermögens aufweisen können.

Schon vor der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde von mehreren Forschern¹ die Beobachtung gemacht, dass die erste Wirkung der Section eines Nerven sich durch eine Erhöhung der Erregbarkeit seines peripheren Stumpfes kund gab. Valli, Pfaff und später Du Bois-Reymond sahen nach Section des Rückenmarks eine Steigerung der Reizbarkeit peripherer Gebilde, und Harless machte nach Ueberschneiden der vorderen Rückenmarkswurzeln ähnliche Erfahrungen. Rosenthal beobachtete (1859), dass die Nerven beim Absterben eine erhöhte Erregbarkeit aufweisen, und H. Munk zeigte (1860), dass dabei nicht nur die einzelnen Punkte des Nerven mehr erregbar sind, sondern auch die Muskelzuckungen bei maximaler Reizung anfangs höher werden, und erst nach diesem Ansteigen definitiv heruntergehen.

Ueber die Ursache dieser Erscheinung hat man wohl verschiedene hypothetische Anschauungen ausgesprochen, aber keine rechte Klarheit gewonnen. Harless glaubte das Hauptgewicht auf das Austrocknen des Nerven legen zu müssen, was wohl entschieden nicht richtig ist, da dasselbe Phänomen auch dann hervortritt, wenn das Präparat durch eine feuchte Kammer vor Verdunstung genau geschützt ist. Budge bezeichnet das Wesen der besprochenen Veränderung als „eine Art reizbarer Schwäche“ — womit er natürlicher Weise nichts erklärt. Hermann² dagegen spricht, ohne damit eine genügende Erklärung geben zu wollen, die wohl sicherlich richtige Anschauung aus, dass die hier besprochene Frage mit einer noch allgemeineren intim zusammenhängt, nämlich derjenigen, warum bei einer Einzelreizung eines irritablen Gebildes nicht auf ein Mal der ganze Vorrath aufgespeicherter Spannkraft, sondern immer nur ein gewisser Theil derselben frei gemacht wird. Es scheint, als ob diejenigen Veränderungen, welche zum Absterben des motorischen Apparates führen, aus unbekanntem Grunde durch eine Erhöhung desjenigen Maasses von Spannkraft, den eine Reizung frei zu machen im Stande ist, eingeleitet werden.

¹ Vgl. Hermann's *Handb. d. Physiol.* 1879. Bd. II. Theil I. S. 123.

² Hermann, l. c. Bd. II. Theil I. S. 121.

Aehnliche Verhältnisse, wie die hier für die Nerven besprochenen, gelten auch nach den Angaben mehrerer Autoren¹ für die Muskeln. Im Anfang des vorigen Jahrhunderts wollte Nysten in der Todtenstarre gewissermaassen eine letzte „Recreation“ des Muskels sehen. Er verglich die Todtenstarre mit der vitalen Muskelcontraction und wollte jene als eine „letzte Anstrengung“ des sterbenden Muskels erklären. Das sog. Nysten'sche Gesetz über die Reihenfolge der Muskeln bei ihrem Erstarren scheint aber diese Reihenfolge von der Länge der resp. motorischen Nerven abhängig zu machen; und dieser Umstand deutet wohl darauf hin, dass früher auftretende Processe im Nervensystem das Absterben der Muskeln gewissermaassen vorbereiten. Diese vorbereitenden Veränderungen in dem nervösen Apparate scheinen sich langsam vom Centrum gegen die Peripherie fortzupflanzen. Und ebenso wie die Absterbeerscheinungen im Nervensystem mit einer Steigerung seiner Erregbarkeit anfangen, so ist es unzweifelhaft der Fall auch mit dem entsprechenden Process in den Muskeln.

An ausgeschnittenen Muskeln tritt das Absterben mit seiner einleitenden Erregbarkeitserhöhung schneller ein, als an Muskeln in situ. Für künstlich durchblutete Säugethiermuskeln haben Ludwig und A. Schmidt nachgewiesen, dass nach Unterbrechung der Blutzufuhr ihre Erregbarkeit zuerst gesteigert wird, dann abnimmt, um, wie schon aus dem Stenson'schen Versuch hervorgeht, bald vollständig zu erlöschen. Derselbe Verlauf — primäre Steigerung der Erregbarkeit und der Arbeitsleistung mit schnell folgender Herabsetzung derselben und Lähmung — trat auch bei Unterbrechung der natürlichen Circulation in einigen Versuchen Santesson's² an Kaninchenmuskeln hervor.

Unter dem Einflusse gewisser Muskelgifte kommen auch Erscheinungen vor, die wohl am besten als Zeichen einer solchen praemortalen Steigerung der Erregbarkeit und der Leistungsfähigkeit aufzufassen sind, wenn sie auch bei schwacher Wirkung wieder vorübergehen können. So wiesen v. Bezold und Hirt³ nach, dass das Veratrin bei directer oder subcutaner Application die Erregbarkeit der Muskeln vorübergehend erhöht, um nachher schnell Starre und Unbeweglichkeit derselben herbeizuführen. Nach subcutaner Vergiftung mit Chininsalzen wird die Leistungsfähigkeit der Muskeln Einzel-

¹ Hermann, l. c. Bd. I. Theil I. S. 140 u. fg.

² Santesson, *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* 1892. Bd. XXX. S. 458. u. fg., im Zusammenhang mit Chininversuchen.

³ v. Bezold u. Hirt, *Unters. aus dem physiol. Institut zu Würzburg* Leipzig 1867. Bd. I. S. 89 u. fg.

reizen gegenüber anfangs bedeutend gesteigert.¹ Aehnlich wirken auch Coffein und Theobromin, ehe sie zu der eigenthümlichen Muskelstarre führen (Dreser).² Bei Besprechung der Muskelwirkung des Chinins bezeichnet Schmiedeberg in seinem Grundriss der Arzneimittellehre die hier eben erwähnte Phänomene als „Absterbeerscheinungen“.

Wir haben diese meistens allbekannten Thatsachen hier kurz übersichtlich zusammengestellt, nur um den Gedanken der Leser in diejenige Richtung zu lenken, wo unserer Ansicht nach die hier zu untersuchende „recreationsähnliche“ Erscheinung ex analogia ihre am meisten aufklärende Beleuchtung findet. Ausser den Versuchen über die „Recreation“ curarevergifteter Präparate schien es aber auch geeignet, nach derselben Methode eine Versuchsreihe mit unvergifteten Präparaten auszuführen, um die grosse Aehnlichkeit, wahrscheinlich sogar Identität der Phänomene hervortreten zu lassen. Wir fangen mit den Normalversuchen an, und gehen dann zu den Vergiftungsversuchen über.

II. Versuche über „recreationsähnliche“ Erscheinungen an unvergifteten Thieren.

Bei den Versuchen wurde das von Boehm für Untersuchungen über die Ermüdbarkeit der motorischen Nervenendigungen ausgearbeitete Verfahren benutzt³ — die Präparate, Ischiadicus und Gastrocnemius von Esculenten, wurden also jede zweite Secunde mit einzelnen Öffnungsinductionsschlägen gereizt. Die Reizung konnte entweder dem Nerven, oder dem Muskel direct zugeführt werden. In der primären Leitung des Inductoriums befanden sich zwei Lécianché-Elemente. Der Rollenabstand war meistens 12 cm. Die Schliessungsinductionsschläge wurden mit Hülfe eines Ludwig-Baltzar'schen Stromunterbrechers abgeblendet. Der Myographionhebel zeichnete die Muskelzuckungen, 5-7 Mal vergrössert, auf. Die Zuckungshöhen sind in den Versuchsprotokollen unreducirt aufgeführt. Die Anordnung war isotonisch; die Belastung auf dem Muskel war anfangs 5-8 g, bei den später (im Jahre 1900) ausgeführten Versuchen 17-5 g. Die Zuckungen wurden an der langsam bewegten Trommel eines Baltzar'schen Kymographion registriert. — In den Versuchsprotokollen sind die Zuckungs-

¹ Santesson, *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* 1892. Bd. XXX. S. 411 und 448.

² Dreser, ebenda. 1890. Bd. XXVII. S. 82 u. fig.

³ Boehm, ebenda. 1894. Bd. XXXV. S. 9.

höhen für den Anfang und für das Ende der Reihe, sowie für den höchsten Punkt derselben angegeben. Da, wie es oft der Fall war, die Zuckungshöhen unregelmässig abwechselten und einzelne Contractionen viel höher als die übrigen waren, werden diese höheren Werthe zwischen Klammern angeführt.

Die hier zunächst anzuführenden Versuche an normalen Thieren wurden in folgender Art ausgeführt: Der Frosch wurde decapitirt, der Beckentheil mit den Hinterbeinen vom Rumpfe abgeschnitten, das Nerv-Muskelpreparat des einen Beines sofort fertig gemacht und untersucht, während das andere Bein, circulationslos, von der Haut bekleidet dalag, bis es nach einer gewissen „Wartezeit“ — $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ oder 1 Stunde — von der Präparation des zuerst untersuchten Beines gerechnet, auch präparirt und untersucht wurde. Je nach der Dauer dieser „Wartezeit“ sind die Versuche in Gruppen A—D geordnet. — (Die kleinen Buchstaben in der Tabelle weisen zu den nachfolgenden kurzen Versuchsnotizen hin.)

Tabelle I. „Recreationsähnliche“ Erscheinungen an normalen Präparaten.

Versuchs-Nr.	Präparat	Rollenabstand Centimeter	Dauer der Reihe in Minuten	Zahl der Zuckungen	Höhe der Zuckungen in Millimeter		
					erste Z.	höchste Z.	letzte Z.
A. Wartezeit 15 Minuten.							
Versuch I.	Rechter Nerv ^a	12	14	420	12.5	14.5	3—3.5
22. Januar 1900	Linker „ ^b	12	23	690	7—9.5	15—17	2.5—3
Versuch II.	Rechter Nerv ^c	12	15	450	14—19.5	16—9.5	3—3.5
26. Januar 1900	Linker „ ^d	12	17	510	17—18.5	20—22	11—13
Versuch III.	Rechter Nerv ^e	12	15	450	11—14	18	11
26. Januar 1900	Linker „ ^e	12	16	480	14—14.5	16	9
B. Wartezeit 30 Minuten.							
Versuch IV	Rechter Nerv ^f	10	33	990	11—13.5	12—14	1—1.5
19. Januar 1900	Linker „ ^f	10	33	990	15—16.5	—	0.8—1.5
Versuch V.	Rechter Nerv ^g	12	24	720	8.5—9	12	1
20. Januar 1900	Linker „	12	20	600	9.5	10.5	1
Versuch VI.	Rechter Nerv	12	21	630	11.5	12.5	1
22. Januar 1900	Linker „ ^h	12	27	810	11	11.5	0.6—0.8

Tabelle I. (Fortsetzung.)

Versuchs-Nr.	Präparat	Rollenabstand Centimeter	Dauer der Reihe in Minuten	Zahl der Zuckungen	Höhe der Zuckungen in Millimetern		
					erste Z.	höchste Z.	letzte Z.

B. Wartezeit 30 Minuten (Fortsetzung).

Versuch VII. 25. Januar 1900	Rechter Nerv	12	32	960	11.5—12	14—16.5	1
	Linker „ ⁱ	12	42	1260	15.5	16—22	1.5
Versuch VIII. 25. Januar 1900	Rechter Nerv	12	25	750	4	12—12.5	1—2
	Linker „ ^k	12	32	960	20—24	—	1.5—4

C. Wartezeit 45 Minuten.

Versuch IX. 23. Januar 1900	Rechter Nerv	12	28	840	11—11.5	13.5—14	1.3—2
	Linker „ ^l	12	37	1110	9—9.5	11.5	0.8—1
Versuch X. 24. Januar 1900	Rechter Nerv	12	27	810	11—12	—	0.5—1
	Linker „ ^m	12	60	1800	19—20	20.5	3.5

D. Wartezeit 60 Minuten.

Versuch XI. 24. Januar 1900	Rechter Nerv ⁿ	12	24	720	14.5—15	16	0.8—1.5
	Linker „ ^o	12	24	720	13.5	14	0.5
Versuch XII. 26. Januar 1900	Rechter Nerv ^p	12	40	1200	12	13	1
	Linker „	12	40	1200	11	12.5	2.7—3

Bemerkungen. *a* sehr gleichmässige Reihe;

b besonders am Ende mehr unregelmässig;

c Reihe unregelmässig, fällt schnell herab;

d ebenso ungleichmässig. Die Reihe des linken Präparates hätte noch lange Zeit fortgesetzt werden können, ehe die Contractionen zu derselben Höhe, wie am Ende der Reihe des rechten Präparates herunter gebracht worden wäre;

e beide Präparate reagierten ungefähr gleich, mit sehr regelmässigen Zuckungsreihen;

f beide Reihen ungefähr gleich;

g das zuerst untersuchte Präparat etwas überlegen — eine Ausnahme!

h das später geprüfte Präparat deutlich ausdauernder;

i und *k* ebenso, zuckt auch bedeutend höher;

l das zweite Präparat mehr ausdauernd, obgleich mit niedrigeren Zuckungen;

m die spätere Reihe bedeutend überlegen;

n Zuckungen bei directer Muskelreizung, 4 bis 0^{cm} Rollenabstand, 6·5 bis 7^{mm};

o Zuckungen des direct gereizten linken Muskels, 4 bis 0^{cm} Rollenabstand, 12 bis 13^{mm}. Beide Reihen (*n* und *o*) bei indirecter Reizung ungefähr gleich;

p beide Präparate ungefähr gleich.

In der Mehrzahl der in Tab. I angeführten Versuche ist das später untersuchte Präparat, das eine Weile nach dem Tödteten des Thieres circulationslos „gewartet“ hat, dem unmittelbar untersuchten deutlich, zuweilen in bedeutendem Grade überlegen: jenes hat längere Zuckungsreihen und mehrere Mal auch höhere Contractionen ausgeführt. Nach den Versuchen der Gruppe *D* zu urtheilen, tritt diese Erscheinung nach einer „Wartezeit“ von 1 Stunde nicht mehr hervor; die Versuche XI und XII zeigen ungefähr gleiche Zuckungsreihen der beiden Präparate. Unter den 10 Versuchen der Gruppen *A* bis *C* weisen 7 (Versuch I, II, VI, VII, VIII, IX und X) deutlich die Ueberlegenheit des zweiten Präparates nach; besonders war der Unterschied in den Versuchen II, VII und X bedeutend. Die Versuche III und IV boten ungefähr gleiche Reihen dar, in Versuch V war sogar das zuerst untersuchte Präparat etwas überlegen.

Wenn also bei normalen (unvergifteten) Präparaten die „recreationsähnliche“ Erscheinung nicht constant war, ist sie doch in der Mehrzahl der Fälle hervorgetreten. Und hier kann es sich wohl nur um die oben besprochene Steigerung der Leistungsfähigkeit handeln, die eine Weile nach dem Ueberschneiden der Nerven und nach der Unterbrechung der Circulation sich einstellt. Diese Steigerung trat in Versuchen hervor, wo das Präparat 15, 30 und 45 Minuten „gewartet“ hatte, schien aber nach 1 Stunde wieder vorüber zu sein.

III. Versuche über den Einfluss des Gehirnstiches auf die Leistungsfähigkeit des peripheren motorischen Apparates.

Es schien nach dieser Erfahrung zunächst von Interesse zu sein, nachzusehen, ob die Unterbrechung der Circulation oder das Ueberschneiden der Nerven die erwähnte Steigerung der Erregbarkeit verschuldete. Dies sollte in der Art geschehen, dass das „wartende“ Präparat entweder mit abgeschnittenem Nerven, aber mit erhaltener Circulation gelassen, oder bei erhaltener nervöser Verbindung aus der Blutbahn ausgeschaltet wurde, während das andere Präparat sofort nach der Decapitation und nach Unterbindung der Arterie heraus-

geschnitten werden sollte. Solche Versuche sollten sowohl an normalen, als an curarevergifteten Thieren ausgeführt werden.

Dieser letzterwähnte Eingriff, das hohe Abschneiden des einen Beines mit folgendem Liegenlassen des verstümmelten Frosches wollten wir aber nicht gern an normal empfindenden Thieren ausführen. Narcotica wollten wir auch am liebsten vermeiden, da es nicht sicher war, dass solche Gifte nicht auf das zu untersuchende Phänomen störend einwirken und besonders die Circulation zu stark abschwächen könnten. Aus hier erwähnten Gründen wurden wir zu einer Voroperation, nämlich zur Zerstörung (Ausbohrung) des Gehirns mit folgender Tamponade einige Stunden oder einen bis mehrere Tage vor dem eigentlichen Versuche geleitet. Wohl war es uns bekannt, dass dieser Eingriff die Leistungen des Rückenmarkes stark beeinflusst, wahrscheinlich auch auf den Gefässtonus und die Circulation der peripheren Theile einwirkt — was wir aber nicht erwarteten, war, dass er auch auf die Functionen peripherer motorischer Gebilde, der Muskeln und besonders der motorischen Nervenendigungen in so bedeutendem Maasse wirken sollte, wie es sich bei den Versuchen erwies. Diese Wirkung der Ausbohrung des Gehirns vereitelte, wie es schien, vollkommen die Absicht der folgenden Versuchsmaassregeln, indem sie an sich schon eine nicht unbeträchtliche Steigerung der Functionen des peripheren motorischen Apparates hervorrief und dadurch, unabhängig von dem Verhalten der Circulation, den Unterschied zwischen den Reactionen der beiden Präparate desselben Thieres meistens vollständig aufhob.

Ob man unter Benutzung von Narcoticis den oben entworfenen Versuchsplan hätte durchführen können, haben wir nicht geprüft, sondern diesen Plan bis auf Weiteres aufgegeben. Wir haben denselben nur erwähnt, um begreiflich zu machen, warum wir die Versuche an gehirnlosen Thieren ausgeführt haben. Diese Versuche, die jetzt ohne näheren Zusammenhang mit der in der Einleitung aufgeworfenen Frage, nämlich über die Bedeutung der „Recreation“ curarevergifteter, circulationsloser Präparate, dastehen, scheinen uns doch an sich ein genügendes Interesse darzubieten, um hier angeführt zu werden.

Das Gehirn wurde in gewöhnlicher Art, meistens so vollständig zerstört, dass das Thier unmittelbar nachher vollkommen schlaff gelähmt war. Später, besonders am folgenden Tage, sind bekanntlich die Reflexe zurückgekehrt und waren meistens recht lebhaft. Einige Versuche (s. Tab. II) wurden nachher ganz in derselben Art, wie die oben (s. Tab. I) angeführten Experimente angestellt; in anderen Fällen (s. Tab. III) wurde die eine Schenkelarterie unterbunden, das Bein

derselben Seite abgeschnitten, präpariert und untersucht, während das andere Bein, von Blut durchströmt, eine gewisse Zeit vor der Präparation liegen blieb. Die Dauer dieser „Wartezeit“ wird in den verschiedenen Versuchen besonders angegeben.

Ein erster, an einem gehirnlosen Thier angestellter Versuch, der in mehreren Beziehungen allein dasteht, führen wir hier anfangs etwas ausführlicher an.

Versuch XIII. 27. Januar 1900. Gehirnstich; Wattetamponade; minimale Blutung. Am folgenden Tage ist der Frosch recht gut beweglich, konnte hüpfen, zeigte Tendenz zu Drehbewegungen um seine Längsaxe (die Ausbohrung war offenbar unvollständig).

29. Januar. Präparation. Nur das rechte Bein wurde untersucht, es zeigte zwar eine Herabsetzung der elektrischen Erregbarkeit, doch andererseits bei genügend starken Reizen eine ungewöhnliche Ausdauer und auffallend hohe Zuckungen, wie die folgenden Zahlen zeigen. Die Reizung geschah vom Nerven aus. Die Contractionsreihen folgten einander mit kurzen Pausen.

Rollen- abstand	Dauer der Reihe in Minuten	Zahl der Zuckungen	Höhe der Zuckungen in Millimetern		
			erste Z.	höchste Z.	letzte Z.
12	—	0	—	—	—
10	2' 30"	15 *	23—21	—	2
8	3	52 *	20—14	24	0.5
5	28	840	33—24.5	—	—
0	75	2250	21	21.5	1—1.5

Bemerkung. a Die Zuckungen sehr unregelmässig; zuweilen blieben sie ganz aus.

Die übrigen Versuche dieser Gruppe stellen wir in Tab. II (siehe nächste S.) zusammen.

Die in der Tab. II mitgetheilten Versuche zeigen keinen bestimmten Unterschied zwischen den beiden Präparaten; während in drei Versuchen das später untersuchte Präparat etwas kräftiger und mehr andauernd reagierte, war die Sache in zwei anderen Versuchen gerade umgekehrt, wobei das zuerst untersuchte Präparat besonders in dem einen Falle sich bedeutend überlegen erwies. Hier ist offenbar eine Veränderung eingetreten, welche die in den früheren Versuchen (Nr. I bis XII) meistens deutlich ausgeprägte Steigerung der Leistungen des „wartenden“ Präparates vollkommen oder beinahe verdeckt.

Wenn wir sonst die Versuche XIV bis XVIII mit diesen früheren (Versuch I bis XII) vergleichen, finden wir, dass die Ausdauer bei

Tabelle II. Versuche an gehirnlosen Thieren; das Präparat während der „Wartezeit“ circulationslos.

(Bei Reizung vom Nerven aus war der Rollenabstand immer 12^{cm}, bei der directen Muskelreizung 0^{cm}. Die „Wartezeit“ betrug in Versuch XV 1 Stunde, in den übrigen Versuchen etwa 30 Minuten.)

Versuchs-Nr.	Dauer zwischen Gehirnstich u. Präparation	Präparat	Dauer d. Reihe in Minuten	Zahl der Zuckungen	Höhe der Zuckungen in Millimetern			
					vom Nerven aus			vom Muskel aus
					erste Z.	höchste Z.	letzte Z.	
Versuch XIV.	1 Tag	Rechter Nerv	30	900	27.5—37.5	[41]	3 [6]	7—
19. Febr. 1900		Linker „	31	930	34—37.5	40	3 [6]	11
Versuch XV.	1 Tag	Rechter Nerv	55	1650	26	28	3.5—4.2	21
26. Febr. 1900		Linker „	28	840	27.7—38.2	31—35	0.8	11—14
Versuch XVI.	3 Std.n.	Linker Nerv	12	360	23.5—24.5	25	1.7—2.0	10
14. März 1900		Rechter „	13	390	24.5—27.5	27.5	4 [12]	16.5
Versuch XVII.	1 Tag	Linker Nerv	17	510	36—41	41	0.5 [11.5]	28
22. März 1900		Rechter „	18	540	26—27.5	30	0.5 [9]	20
Versuch XVIII.	3 Std.n.	Linker Nerv	19	570	29—30	31 [33]	0.5 [8]	11.5
23. März 1900		Rechter „	15	450	24	—	1—3.5	22

jenen Präparaten eher etwas geringer war als bei diesen, dass aber die Höhe der Contractionen umgekehrt in den an gehirnlosen Thieren angestellten Experimenten bedeutend grösser war, als in den anderen.

Wenn in den Versuchen der Tab. I oben die Contractionshöhen meistens nur 10 bis 15^{mm}, selten 20 bis 22^{mm} betrugten, erreichten sie hier (in der Tab. II) eine Höhe von 25 bis 30^{mm} und darüber, zuweilen sogar 40 bis 41^{mm} — dies bei 12^{cm} Rollenabstand. Dabei ist zu bemerken, dass die indirecte (vom Nerven) bei 12^{cm} Rollenabstand ausgelösten Zuckungen durchgehends viel grösser sind, als die bei directer Muskelreizung und 0^{cm} Rollenabstand gezeichneten Contractionen; diese sind nur ausnahmsweise höher, als normal (z. B. in Versuch XVII, linker Nerv).

Die Ursache dieses Unterschiedes kann wohl nur in dem vorher ausgeführten Eingriff auf das Centralnervensystem liegen. Dadurch sind gewisse Veränderungen auch der peripherischen motorischen Gebilde, vor allem, wie es scheint, der motorischen Nervenendigungen eingeleitet worden, die

ebenso wie das „Warten“ der circulatorischen Präparate vorher normaler Frösche sich durch eine Steigerung der Functionen kund geben. Nur ist hier, an den gehirnlosen Thieren, eine Erhöhung der Ausdauer nicht vorhanden, statt dessen die Steigerung der Contractionshöhen, wie erwähnt, oft sehr gross.

Ueber die etwaige Bedeutung des hier nachgewiesenen Phänomens ist es schwer, sich bestimmt zu äussern. Einerseits kann es sich hier in gewissen Fällen so wie in den Versuchen der Tab. I oben einfach um „Absterbeerscheinungen“ handeln. Andererseits wird man daran erinnert, dass, wie die Nervenpathologie lehrt, eine Unterbrechung des Einflusses des Gehirns auf die niedrigeren Theile des Centralnervensystems in gewissen Richtungen eine Steigerung der Functionen dieser Theile mitführt, die mit einem „Absterben“ desselben in gewöhnlichem Sinne nichts zu thun hat, da sie viele Jahre hindurch bestehen kann. Dass dieser Einfluss der Gehirnzerstörung sich auch auf die peripheren Theile des motorischen Apparates (besonders auf die Nervenendigungen) erstrecken konnte, ist zwar meines Wissens nicht vorher in der hier besprochenen Art nachgewiesen — doch wohl andererseits nicht unmöglich. Hiermit hängt wohl auch zusammen, dass der normale Tonus der Muskeln des gehirnlosen Thieres verändert ist, was auch vielleicht ihre Reactionen bei elektrischer Reizung beeinflusst. Wie man sich auch die Sache zu erklären versucht, so kommt man doch zu dem allgemeinen Hermann'schen Satz zurück: Es ist das normale Ausmassen desjenigen Energiequantums, das durch eine gewisse Reizung frei gemacht wird, gestört.

Ausser der eben besprochenen Erscheinung von allgemeinem nervenphysiologischen Interesse lehren die Versuche der Tab. II noch, dass nicht die Unterbrechung der Circulation allein die nachgewiesene Functionssteigerung verschuldet. Denn hier reagiren die beiden Präparate ungefähr gleich — es besteht wenigstens kein bestimmtes Uebergewicht des einen — und doch liegt das später untersuchte Präparat während der „Wartezeit“ circulationslos; vorher sind sie beide, auch nach der Zerstörung des Gehirns, in gleicher Weise von Blut durchströmt.

Dass auch die Erhaltung der Circulation des „wartenden“ Beines die Sache nicht ändert, zeigen die Versuche der Tab. III (s. nächste Seite).

In Versuch XX sind die beiden Präparate ungefähr gleich kräftig, das zuerst untersuchte doch etwas überlegen (höhere Zuckungen). Versuch XXI zeigt uns das eigenthümliche Verhalten, dass das später geprüfte Präparat höher zuckt, statt dessen aber früher ermüdet. In

Tabelle III. Versuche an gehirnlosen Thieren; das später untersuchte Präparat während der „Wartezeit“ von Blut durchströmt.

(Gehirnstich am Tage vor der Präparation; Nervenreizung bei 12^{cm}, directe Muskelreizung bei 5 bis 0^{cm} Rollenabstand. Die „Wartezeit“ war in Versuch XIX und XX 45', in Versuch XXI 30').

Versuchs-Nr.	Präparat	Dauer d. Reihe in Minuten	Zahl der Zuckungen	Höhe der Zuckungen in Millimetern			
				vom Nerven aus			vom Muskel aus
				erste Z.	höchste Z.	letzte Z.	
XIX.	Linker Nerv	27	810	82.7	35.5	2.2 [6]	10
7. März 1900	Rechter „	31	930	30.0	40.0	3.0 [12]	11—12
XX.	Linker Nerv	33	990	28	29.7	1 [11]	14—16
8. März 1900	Rechter „	33	990	24	25	1—2	17—18.5
XXI.	Linker Nerv	25	750	23	31	2.0	5—6
21. März 1900	Rechter „	20	600	30	34	1—2.0	20

Versuch XIX ist das später in Arbeit genommene Präparat deutlich kräftiger und mehr ausdauernd. Im Ganzen sind doch die Unterschiede wenig ausgesprochen und gehen in den verschiedenen Versuchen in ungleichen Richtungen. Die Versuche XIX bis XXI (Tab. III) geben also dasselbe Resultat, wie die Versuche XIV bis XVIII (Tab. II). Auch hier sind die auffallend hohen Zuckungen meistens nur bei indirecter Reizung hervorgetreten.

Wenn wir jetzt die an sich recht eigenthümlichen Versuche an gehirnlosen Thieren verlassen und zu unserem eigentlichen Thema wieder zurückkehren, erinnern wir hier nur daran, dass die oben (Tab. I S. 203) angeführten Versuche an unvergifteten (nicht vorher am Gehirn operirten) Thieren in der Mehrzahl der Fälle die oben besprochene „recreationsähnliche“ Erscheinung an dem später untersuchten Präparat gezeigt haben, dass dieses Phänomen also unzweifelhaft in normalen (von einer eventuellen Vergiftung unabhängigen) Verhältnissen begründet ist.

Wir gehen jetzt zu den Vergiftungsversuchen über, die eine planmässige Wiederholung der in der Einleitung anfangs angeführten, zufälligen Beobachtungen darstellen.

IV. Versuche über „recreationsähnliche“ Erscheinungen an curarevergifteten Thieren.

Die zu diesen Versuchen benutzten Thiere (Esculenten) wurden mit kleinen Gaben von Tetramethylammoniumchlorid in 1 pro mille wässriger Lösung subcutan vergiftet. Kurz vorher wurde 1^{mg} Atropin. sulphur. gleichfalls subcutan injicirt, um den sonst von der Ammoniumverbindung oft hervorgebrachten Herzstillstand zu verhüten. Nach der Injection des Curaregiftes blieb der Frosch bis zu der Präparation in verschiedenen Versuchen verschieden lange Zeit liegen: in einigen 15' (Gruppe A), in anderen 30' (Gruppe B), in noch anderen 60' (Gruppe C). Nach dem Ausschneiden des zuerst untersuchten Präparates lag das andere Bein meistens $\frac{1}{2}$ Stunde circulationslos, ehe es in Arbeit genommen wurde (nur in Versuch XXII, XXVII und XXXI war diese Zeit etwa 45', in Versuch XXXIV nur wenige Minuten). Jedesmal wurde nach dem Ende der bei Nervenreizung gezeichneten Zuckungsreihen die Muskelreaction geprüft und kräftiger als die Reaction vom Nerven aus gefunden. Bei der Präparation schlug das Herz immer gut. Bei Zerstörung des Rückenmarkes und bei Durchschneidung der Ischiadici traten meistens Zuckungen hervor; nur in den Versuchen XXX, XXXIII bis XXXV war dies nicht der Fall.

Tabelle IV. Versuche an vergifteten Thieren.

Versuchs-Nr.	Giftgabe in Milligramm auf 50* Frosch	Präparat	Rollensabstand Centimeter	Dauer d. Reihe Minuten	Zahl der Zuckungen	Höhe der Zuck. in Millim. vom Nerven aus		
						erste Z.	höchste Z.	letzte Z.
Gruppe A.								
XXII.	0.5	Linker Nerv	15	27	810	14.0	—	1.0
26. Oct. 1899		Rechter „	15	67	2010	16.0	—	1.0
XXIII.	1.0	Linker „	12	17	510	14.0	—	0.2
6. Nov. 1899		Rechter „	12	24	720	18—20.0	—	0.5
XXIV.	1.5	Linker „	12	6	180	11—13.0	—	0.5
2. Nov. 1899		Rechter „	12	28	840	18—20.0	22.0	1.0
XXV.	1.5	Linker „	0	4	—	—	—	—
11. Nov. 1899		Rechter „	12—10	10	300	2.0	13—15.0	0.5

Tabelle IV. (Fortsetzung.)

Versuchs-Nr.	Giftdosis in Milligramm auf 50 g Frosch	Präparat	Rollenabstand Centimeter	Dauer d. Reihe Minuten	Zahl der Zuckungen	Höhe der Zuck. in Millim. vom Nerven aus		
						erste Z.	höchste Z.	letzte Z.
Gruppe B.								
XXVI.	0.5	Linker Nerv	12	9	270	12.5—15.0	15.0	1—2.0
24. Oct. 1899		Rechter „	12	41	1230	21—26.0	26.0	1.0
XXVII.	0.5	Linker „	12	14	420	12.0	13.0	1.0
27. Oct. 1899		Rechter „	12	8	240	15—16.0	—	1.0
XXVIII.	1.0	Linker „	12	18	540	16.0	20.0	1—0.5
31. Oct. 1899		Rechter „	12	33	990	14	—	0.5
XXIX.	1.5	Linker „	12	5	0	—	—	—
3. Nov. 1899		Rechter „	12	41	1230	18.0	—	1—1.5
XXX.	1.5	Linker „	12	3	0	—	—	—
14. März 1900		Rechter „	12	18	660	33.0	35.0	1—2.0

Gruppe C.

XXXI.	0.5	Linker Nerv	12	30	900	19.0	21.0	0.5—1.0
23. Oct. 1899		Rechter „	12	32	960	19.0	22.0	1.0
XXXII.	1.0	Linker „	12—0	4	120	3—5.0	6.5	0.2
1. Nov. 1899		Rechter „	12—0	1	0	—	—	—
XXXIII.	1.5	Linker „	12	4	0	—	—	—
4. Nov. 1899		Rechter „	12—0	27	810	1—1.5	[15]	0.5
XXXIV.	1.5	Linker „	0	1	0	—	—	—
9. Nov. 1899		Rechter „	8—0	4	120	1.0	2.0	0.5
XXXV.	1.5	Linker „	12	1	0	—	—	—
17. Nov. 1899		„ „	5—0	11	330	1—2.0	4—5.0	1.0
	—	Rechter „	12	1	30	1—1.5	—	0.5
		„ „	10—0	6	180	0.5—1.0	[13]	0.5

Wenn wir auf die Versuche der Tab. IV zurückblicken, finden wir, dass nur mit einer Ausnahme (Versuch XXVII) sämtliche Versuche der Gruppen A und B die „recreationsähnliche“ Erscheinung in ausgesprochener Art aufweisen. In diesen Fällen hat das Gift vor dem Töten der Thiere 15 resp. 30 Minuten auf dieselben eingewirkt. Auch der Versuch XXVII, wo aus unbekanntem Grunde das zuerst untersuchte Präparat eine längere Zuckungsreihe

ausführte, waren umgekehrt die Contractionshöhen dieser Reihe niedriger als diejenigen des später geprüften Präparates.

Die Versuche der Gruppe *C*, worin 1 Stunde zwischen der Vergiftung und der Präparation verstrich, ergaben ein weniger constantes Resultat. Die Versuche XXXIII und XXXIV stimmten mit denjenigen der vorigen Gruppen überein, Versuch XXXII gab ein gerade entgegengesetztes Resultat, während die Versuche XXXI und XXXV ungefähr in der Mitte stehen.

In den Versuchen der Gruppen *A* und *B*, wo das Gift nur verhältnissmässig kurze Zeit gewirkt hat, macht sich die reizbarkeitsteigernde Wirkung der „Wartepause“, die ja auch an normalen Präparaten vorhanden ist, leichter, stärker und mehr constant geltend als in den Versuchen der Gruppe *C*, wo die Giftwirkung 1 Stunde vor der Präparation gedauert hatte und die motorischen Nervenendapparate also im Ganzen stärker angegriffen waren. Daraus erklärt sich wohl am besten das Fehlen der „Recreation“ in einigen Versuchen der letzten Gruppe.

Auch fehlt sie in zwei hier unten anzuführenden Versuchen, wo die „Wartepause“ zwischen den Prüfungen der beiden Präparate eine ungewöhnlich lange Zeit, 80 und 90 Minuten, betrug. In dem ersten dieser Versuche (XXXVI) hatte das Gift vor der Präparation nur 15 Minuten eingewirkt, in dem zweiten (XXXVII) 30 Minuten, der Rollenabstand war in beiden Versuchen 12^{cm}.

Tabelle V. Vergiftungsversuche mit langer „Wartepause“.

Versuchs-Nr.	Giftdosis in Milligramm auf 50 ^g Froesch	Dauer der „Wartepausen“ in Minuten	Präparat	Dauer d. Reihe Minuten	Zahl der Zuckungen	Höhe der Zuck. in Millim. vom Nerven aus		
						erste Z.	höchste Z.	letzte Z.
XXXVI. 30. Oct. 1899	1.0	80	Linker Nerv	76	2280	15.0	20.0	0.5 (2)
			Rechter „	2	60	1.0	2.0	0.5
XXXVII. 8. Nov. 1899	1.5	90	Linker „	78	2840	17.0	19.0	0.5—1.0
			Rechter „	4	120	14.0	15.0	0.5

Es wäre gut möglich, dass eine früher vorgenommene Untersuchung des „wartenden“ Präparates wenigstens ein viel besseres Resultat der zweiten Reihe ergeben hätte, wenn auch diese Reihe wahrscheinlich nicht länger und kräftiger als die zuerst gezeichnete

ausgefallen wäre. Denn die beiden zuerst geschriebenen Serien sind eben in diesen Versuchen ungewöhnlich lang und stattlich. Diese Fälle nehmen auch in dieser Beziehung eine Ausnahmestellung ein, die sich nicht näher erklären lässt.

Die Versuche an den mit Tetramethylammoniumchlorid vergifteten Thieren haben also bei nicht zu langer Giftwirkung und bei geeigneter „Wartepause“ das „recreations-ähnliche“ Phänomen fast constant und viel deutlicher als an den normalen Thieren hervortreten lassen.

V. Schlussbemerkungen.

Ein Vergleich der eben angeführten Vergiftungsversuche mit den in Abschnitt II mitgetheilten Beobachtungen an normalen Thieren scheint unzweifelhaft dazu geeignet, das bei der Wirkung gewisser nervenlähmender Gifte vorkommende räthselhafte „Recreationsphänomen“ zu beleuchten. Zwar ist es nicht sicher bewiesen, dass die in den beiden Versuchsreihen hervortretende ähnliche Erscheinung in beiden Fällen von ganz derselben Natur ist; dies muss aber als im höchsten Grade wahrscheinlich betrachtet werden, da, wie oben schon hervorgehoben wurde, eine Entfernung des Giftes aus den circulationslosen Präparaten nicht gut möglich ist und eine Zerstörung desselben in loco wohl wenig annehmbar erscheint. Ich erinnere daran, dass die „Recreation“ nicht nur bei Versuchen mit Tetramethylammoniumchlorid und mit methylirten Pyridin-, Chinolin- u. s. w. Salzen, sondern auch bei solchen mit Strychnin hervorgetreten ist, und die Annahme einer schnellen Decomposition solcher Molocüle in circulationslosen Kaltblütermuskeln streitet wohl gegen alle bisherigen Erfahrungen.

Dagegen macht es keine Schwierigkeit, sich vorzustellen, dass die schon normal auftretende, prämortale Reizbarkeitssteigerung, die natürlicher Weise auch in den vergifteten Präparaten sich geltend zu machen versucht, bei diesen einen wesentlich verbesserten Effect der Reizung des später (15', 30' oder 45' Minuten nach der Präparation) untersuchten Präparates hervorbringen kann.

Doch scheinen nicht alle curareähnlich wirkenden Gifte das Hervortreten einer solchen „Recreation“ zu gestatten. Einige, wie Curarin und Brucin, üben auf die motorischen Nervenendigungen einen weit intensiveren, an sich progressiven Effect aus, der auch in den circulationslosen Präparaten sich weiter entwickelt, indem die nach Ruhepausen wiederholt gezeichneten Zuckungsreihen unter dem Einfluss dieser Gifte immer kürzer und niedriger werden. Strychnin aber,

Tetramethylammoniumchlorid und die übrigen eben erwähnten methylieren Basen lassen oft unter geeigneten Bedingungen das betreffende Phänomen hervortreten. Wohl ist die Nervenendwirkung des Dimethylthallinchlorids und besonders des Tetramethylammoniumchlorids anfangs sehr energisch; doch beissen sich offenbar diese Gifte nicht so fest in den motorischen Nervenendigungen wie Curarin und Brucin — ihre lähmende Wirkung hat nicht dieselbe progressive Tendenz wie diejenige der intensivsten Curaregifte. Und daher kann die prämortale Reizbarkeitssteigerung sich nach Vergiftung mit diesen weniger anhaltend wirkenden Substanzen geltend machen.

Wie in der Einleitung erwähnt wurde, ist früher die Ansicht ausgesprochen worden, dass die in dem motorischen Apparate sich abspielenden, dem Gewebstode vorangehenden Veränderungen u. A. sich in den motorischen Nervenfasern selbst entwickeln, sich durch dieselben vom Centrum gegen die Peripherie verbreiten u. s. w. Wenn sonst die hier versuchte Zusammenstellung der „Recreationserscheinungen“ curarevergifteter und normaler Präparate berechtigt ist, so kommt es uns wahrscheinlicher vor, dass auch bei den unvergifteten Präparaten die prämortalen Reizbarkeitsveränderungen, insofern sie sich in den peripheren Gebilden abspielen, in erster Linie die motorischen Nervenendigungen — diese bekanntlich oft besonders empfindlichen und leicht beeinflussten Gebilde — treffen.

Dadurch, dass wir auf die prämortalen Reizbarkeitsveränderungen als die wahrscheinlichste Ursache der „recreationsähnlichen“ Erscheinungen hingewiesen haben, ist ihr eigentliches Wesen natürlicher Weise noch lange nicht aufgeklärt. Denn die prämortalen Reizbarkeitsveränderungen selbst bleiben uns, wie vorher, ein dunkles Räthsel.

Die Resultate unserer Versuche können in folgenden Punkten kurz zusammengefasst werden:

1. Wenn man einen Frosch tödtet und mit den beiden Schenkelpräparaten (Ischiadicus und Gastrocnemius) „Ermüdungsreihen (nach Boehm) zeichnet, und zwar mit dem einen sofort, mit dem anderen, während der Zwischenzeit circulationslosen Präparat erst 15', 30' oder 45' später, so führt oft das später untersuchte Bein eine längere Reihe höherer Zuckungen als das früher geprüfte aus. Dies hängt wohl von der allgemein angenommenen prämortalen Reizbarkeitssteigerung der peripheren motorischen Gebilde — also von einer „Absterbeerscheinung“ — ab.

2. Wenn man beim Frosch das Gehirn vollständig aus-

bohrt und einige Stunden oder 1 bis mehrere Tage später denselben Versuch, wie unter Punkt 1 angegeben, ausführt, tritt wohl zwischen den beiden Präparaten desselben Thieres kein constanter oder mehr auffallender Unterschied auf — auch ist die Ausdauer derselben nicht erhöht. Dagegen sind die Contractionshöhen bei Reizung vom Nerven aus bedeutend grösser, als wenn das Gehirn vorher intact gewesen wäre; die Zuckungen bei directer Muskelreizung sind viel weniger beeinflusst. Die Zerstörung des Gehirns hat hier offenbar eine Steigerung der Erregbarkeit der peripheren motorischen Gebilde, vor Allem der motorischen Nervenendigungen, hervorgerufen.

3. Wenn man einen Frosch mit einer nicht zu intensiv curare-ähnlich wirkenden Substanz, z. B. Tetramethylammoniumchlorid, leicht vergiftet und nach 15' oder 30' den unter Punkt 1 angegebenen Versuch ausführt, zeigt sich das später untersuchte Präparat fast constant viel ausdauernder und kräftiger, als das zuerst geprüfte. Diese „recreationsähnliche“ Erscheinung ist hier viel mehr ausgesprochen, als an unvergifteten Präparaten. Aller Wahrscheinlichkeit nach macht sich auch hier die prämortale Reizbarkeitssteigerung geltend. Strychnin giebt dasselbe Phänomen, Curarin (Boehm) und Brucin dagegen nicht.

4. Es ist andererseits wahrscheinlich, dass diese prämortalen Reizbarkeitsveränderungen, insofern sie sich in den peripheren Gebilden abspielen, auch bei unvergifteten Präparaten in erster Linie die motorischen Nervenendigungen treffen.

Stockholm, im Juli 1900.

Eine Methode, um den Kohlensäuregehalt in kleinen Blutmengen zu bestimmen.¹

Von

Robert Tigerstedt.

(Aus dem physiologischen Laboratorium des Carolinischen medico-chirurgischen Instituts in Stockholm.)

Für die nähere Kenntniss der Stoffwechselvorgänge kann die vergleichende Analyse des Blutes in verschiedenen Gefässgebieten wichtige Aufschlüsse geben, denn der bei Weitem grösste Theil der bei der Thätigkeit der Organe gebildeten Producte wird ja dem Blute übergeben, und nur verhältnissmässig geringe Mengen derselben gelangen in die Lymphgefässe.

Angesichts der grossen Strömungsgeschwindigkeit des Blutes ist aber der Gehalt des Blutes an diesen Producten im Allgemeinen so gering, dass sich keine bestimmten Zahlenangaben über ihre Variationen zur Zeit gewinnen lassen, auch wenn wir davon absehen, dass die Probeentnahme grosse Schwierigkeiten darbietet, wenn sie ohne venöse Stauung in dem betreffenden Organe stattfinden soll.

Eine Veränderung kann indess ohne Schwierigkeit quantitativ verfolgt werden, nämlich die der Blutgase; die Frage ist aber bis jetzt nur wenig untersucht worden.

Es schien mir daher von Interesse zu sein, das unter verschiedenen Bedingungen aus verschiedenen Organen strömende venöse Blut hinsichtlich seines Gasgehaltes zu analysiren, und zu gleicher Zeit auch die durch die betreffenden Organe strömende Blutmenge zu bestimmen. Wenn sich eine solche Untersuchung durchführen liesse, so würden wir dadurch werthvolle Aufschlüsse über den Antheil erhalten, welchen die verschiedenen Organe unter verschiedenen physiologischen Zuständen am Gesamtstoffwechsel haben.

¹ Der Redaction am 24. August 1900 zugegangen.

Damit eine solche Untersuchung befriedigende Resultate ergeben würde, war es aber nothwendig, dass die zur Analyse entnommenen Blutproben so klein sein sollten, dass der Kreislauf nicht in irgend welchem erheblichen Grade durch die Probeentnahme gestört werden würde. Es galt daher in erster Linie eine Methode auszuarbeiten, welche es gestattete, die Gase in sehr kleinen Blutproben zu bestimmen.

Bis jetzt ist dies mir nur hinsichtlich der Kohlensäure gelungen. Auf Grund dessen hätte ich meine hierher gehörigen Erfahrungen noch nicht mittheilen sollen, wenn ich nicht durch meine Uebersiedelung nach Helsingfors dazu gezwungen wäre, die betreffende Untersuchung vorläufig zu unterbrechen, und weil es möglich ist, dass es noch lange dauern wird, ehe ich in die Lage komme, diese Arbeit fortzusetzen.

Ich hatte mir die Aufgabe gestellt, die Kohlensäure in Blutproben von höchstens 1 ^{cem} mit genügender Genauigkeit zu bestimmen. Nach mancherlei Schwierigkeiten, welche für weitere Kreise kein Interesse darbieten, ist dies mir auch gelungen,

Zur Analyse benutzte ich den von Pettersson vor einigen Jahren gebauten und von Söndén modificirten Apparat, der in diesem Archiv Bd. VI S. 14 ausführlich beschrieben ist. Die Grösse der Pipetten betrug etwa 40 ^{cem}.

Da die Gasmenge, welche aus 1 ^{cem} Blut erhalten wird, keinen Cubikcentimeter beträgt, war es nöthig, die vom Blute ausgepumpten Gase mit CO₂-freier Luft zu verdünnen, bevor sie analysirt wurden.

Mein Apparat besteht also aus 3 Theilen: 1. der Vorrichtung zur Probeentnahme; 2. der Luftpumpe und der Vorrichtung zur Verdünnung der Blutgase mit CO₂-freier Luft; 3. dem Analysen-Apparat.

I. Die Vorrichtung zur Probeentnahme ist in Fig. 1 abgebildet. Sie besteht aus zwei unter einander verbundenen Glas-kugeln, *A* und *B*. *A* ist genau geaicht und dient zur Messung des aus dem Gefäss strömenden Blutes; *B* ist ein Recipient, in welchem das gemessene Blut aufgenommen und zum Theil entgast wird.

Behufs der Probeentnahme wird eine Canüle in das Gefäss eingesetzt und durch ein Capillarrohr mit dem Rohre *1* verbunden. Der Hahn *a* steht dabei in der Stellung, dass *1* und *2* mit einander communiciren. Wird jetzt das Gefäss geöffnet, so strömt das Blut durch das Capillarrohr nach *1* und *2* und verdrängt die darin enthaltene Luft. Zu diesem Zwecke genügt weniger als 1 ^{cem} Blut.

Nachdem dies stattgefunden hat, wird der Hahn *a* so umgedreht, dass *1* mit *A* verbunden wird. Das Blut strömt nun in die Messkugel.

Diese ebenso wie die entsprechende Bohrung des Hahnes *a* ist aber vorher mit Quecksilber gefüllt worden, und zwar dadurch, dass ein Hg-Gefäss unter Vermittelung eines Schlauches am Rohre 3 festgemacht ist. Als nun durch geeignete Stellung des Hahnes *a* 1 mit *A* verbunden wird, und zu gleicher Zeit auch 3 mit *A* communicirt, so drückt das herausströmende Blut das Quecksilber herab und füllt allmählich die Kugel *A* vollständig. (Je nachdem der Blutdruck höher oder niedriger ist, wird das Hg-Gefäss höher oder niedriger gestellt. Bei Entnahme venösen Blutes muss das Gefäss zuweilen so tief gestellt werden, dass eine Ansaugung stattfindet.)

Jetzt werden die Hähne *a* und *b* zuge-dreht: eine Blutprobe, deren Volumen durch die Aichung der Kugel *A* genau bekannt ist, ist darin enthalten.

Die Verbindungen des Capillarrohres an 1 und des Hg-Gefässes an 3 werden jetzt schnell losgemacht.

Vor der Probeentnahme ist die Kugel *B* ausgepumpt worden und also luftleer. Wird nun der Hahn *b* so gedreht, dass *A* mit *B* communicirt, so fängt das Blut an zu kochen und tritt nach *B* über.

Zum Auspumpen der Blutgase wird endlich der ganze Apparat mittels des Schliffes 4 an einem entsprechenden Schliff an der Luftpumpe befestigt, und nachdem alles in Ordnung ist, durch Drehen des Hahnes *c* die Kugeln mit der Luftpumpe in offene Verbindung gestellt.

Von dieser Vorrichtung habe ich zwei Exemplare benutzt; das Volumen der Kugel *A* betrug bei dem einen, I, 0.9423 ^{cem}, bei dem anderen, II, 0.9730 ^{cem}.

Das Volumen der Kugel *B* betrug in beiden Apparaten etwa 30 ^{cem}. Das Blut wurde daher fast augenblicklich nach der Probeentnahme einer ziemlich grossen Luftverdünnung ausgesetzt.

II. Die Luftpumpe, eine Quecksilberpumpe mit beweglichem Hg-Gefäss, bietet ihrer Construction nach nichts Besonderes dar. Sie besteht aus zwei von einander durch den Hahn *d* abschliessbaren Kugeln, *C* und *D*, welche zusammen etwa 500 ^{cem} fassen. Die Pumpe

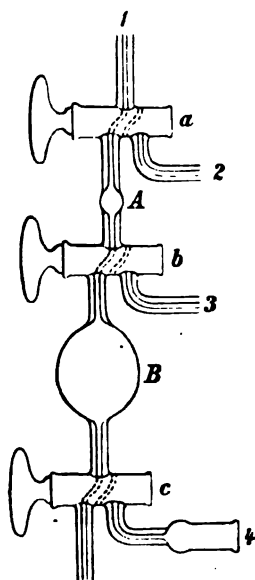


Fig. 1. Der Apparat zur Probeentnahme. $\frac{1}{4}$ der natürl. Grösse.

wird luftleer gemacht (das Hg-Gefäss wird mittels eines Schlauches mit 8 vereinigt) und die Vorrichtung zur Probeentnahme in der schon erwähnten Weise an dem Schliff *e* befestigt. Wenn nun die Hähne *f* an der Pumpe und *c* an dem Apparat zur Probeentnahme geöffnet werden, so wird das in letzterem enthaltene Blut dem grossen Vacuum ausgesetzt und kommt in heftiges Kochen.

Die Gase werden nach Zudrehen des Hahnes *f* durch Quecksilber in die Kugel *C* getrieben, diese dann durch Zudrehen des Hahnes *d* von der unteren Kugel *D* geschlossen, in welcher jetzt wieder das Vacuum hergestellt wird. Der Hahn *f* wird aufs Neue geöffnet und der Rest der Blutgase ausgepumpt.

Dieses Verfahren wird so viel Mal wiederholt, bis alles Gas aus dem Recipienten entwichen ist. Dann lässt man das Quecksilber in die Kugel *C* aufsteigen.

Hier findet sich nun die ganze Menge der ausgepumpten Blutgase vor, und diese soll bis zu einem bestimmten Volumen mit CO_2 -freier Luft verdünnt werden.

Zu diesem Zwecke trägt die Pumpe an ihrem oberen Ende einen Hahn *g* mit doppelter Bohrung. Die eine Bohrung leitet zum Rohre 6 und dient dazu, die Luft aus der Pumpe heraus zu treiben.

Die andere Bohrung 7 gestattet die Verbindung der Kugel *C* mit einer Röhre, durch welche CO_2 -freie Luft in die Pumpe aufgenommen wird, indem sie vorher ein Gefäss mit Natronkalk (s. Fig. 3) zu passiren hat.¹

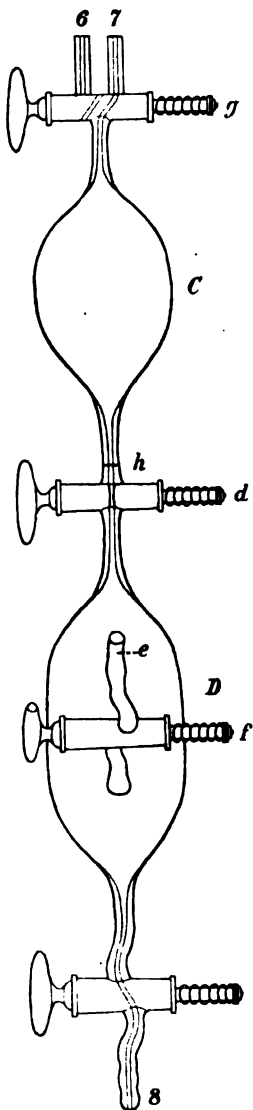


Fig. 2. Die Luftpumpe.
 $\frac{1}{4}$ der nat. Grösse.

¹ Dieses Gefäss besteht aus einem etwa 2-4 cm weiten Rohre *F*, welches oben durch eine eingeschliffene Kappe *G* abgeschlossen wird. Die Kappe trägt zwei Röhren, *i* und *k*, von welchen die eine, *i*, mit der umgebenden Luft communicirt, die andere, *k*, mit der Röhrenleitung zur Luftpumpe verbunden ist. Innerhalb des Rohres *F* findet sich eine kleinere Röhre, *H*, welche sich bis an das untere Ende von *F* erstreckt und oben an der Röhre *k* öffnet. Das Rohr *F* wird mit Natronkalk gefüllt. Wird

Die Einnahme dieser Luft muss ziemlich langsam stattfinden, damit man sicher sein kann, dass wirklich alle Kohlensäure durch den Natronkalk resorbirt worden ist. Dies geschieht in der Weise, dass man das Quecksilber sehr langsam aus Kugel *C* herausfliessen lässt, während der Hahn *g* so gestellt ist, dass die Luft durch *7* eintreten kann.

Oberhalb des Hahnes *d* findet sich an der Röhre eine Marke *h*, bis zu welcher das Quecksilber herabfliessen muss. Gerade bis zu dieser Marke ist nämlich die Kugel *C* geächt. Das Volumen beträgt für die Pumpe I (dem Recipienten I entsprechend) 243.61^{ccm}, und für Pumpe II (dem Recipienten II entsprechend) 214.60^{ccm}.

III. Der Analysenapparat ist mittels eines Zweiges derselben Röhre, durch welche die Pumpe mit CO₂-freier Luft gefüllt wird, mit letzterer verbunden.

Bei der Analyse wird zuerst die Luft in *C* durch Heben des Hg-Gefässes comprimirt, dann der Hahn *g* in der Richtung nach *7* geöffnet, die Luft strömt aus *C* heraus und verdrängt die in der Röhrenleitung noch befindliche Luft. Dann wird das weitere Ausströmen der Luft durch Schliessen eines jenseits des Analysenapparates befindlichen Hahnes verhindert, und die Probe zur Analyse in die Analysenpipette wie gewöhnlich eingenommen.

Da, wie erwähnt, die Analysenpipette nur etwa 40^{ccm} fasst, genügt die in *C* enthaltene Luft für mehrere Analysen.

Um den Druck im Apparat zu controliren, habe ich endlich jenseits des Natronkalkrohres ein kleines Manometer angebracht. Dasselbe kann mittels eines Hahnes von der äusseren Luft abgeschlossen werden und zeigt dann, in wiefern der Druck im Systeme dem Luftdruck gleich ist, oder nicht.

nun in der Richtung von *k* eine Ansaugung ausgeübt, so muss die Luft durch den Natronkalk bis zum unteren Ende des Rohres *F* passiren und wird dabei von ihrer Kohlensäure befreit. Die jetzt CO₂-freie Luft strömt dann weiter durch *H* nach *k* u. s. w. Dieser Apparat ist von meinem Freunde Klas Söndén construiert.

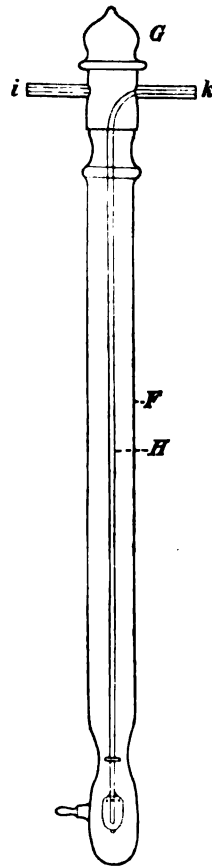


Fig. 3. Das Natronkalk-Rohr.

$\frac{1}{4}$ der nat. Grösse.

Alle Verbindungen, bei welchen Kautschuk zur Verwendung gelangt ist, sind mit der grössten Sorgfalt hergestellt und haben sich bei wiederholter Prüfung als vollkommen luftdicht erwiesen.

Der Aufgabe der Untersuchung entsprechend war es nothwendig, zwei derartige Apparate zu benutzen, denn es sollten ja immer zwei gleichzeitig von verschiedenen Gefässen genommene Blutproben hinsichtlich ihres Gasgehaltes unter einander verglichen werden. Diese Apparate, welche ich als I und II bezeichne, waren mit dem Analysenapparate und dem Natronkalkapparate unter Anwendung zweckmässig angebrachter Hähne verbunden.

Der Erfolg der Analyse war von gewissen kleinen Vorsichtsmaassregeln in hohem Grade abhängig, und ich darf es daher nicht unterlassen, auf einige aufmerksam zu machen, obgleich ich genau weiss, dass solche Maassregeln nur durch die practische Beschäftigung mit dem Apparate erlernt werden können.

In erster Linie ist die Behandlung des Blutes im Recipienten zu besprechen.

Wie erwähnt, beginnt das Blut sogleich nach Umstellen des Hahnes *b* zu kochen und wird dadurch in die Kugel *B* getrieben. Wird es jetzt sich selber überlassen, so gerinnt es zu einem dicken Klumpen, welcher nur schwierig entgast wird. Man kann aber diesen Uebelstand, welcher die ganze Anwendung der Methode vereiteln würde, vollständig vermeiden, wenn man den Apparat (Fig. 1) bis zu stattgefundener Gerinnung langsam umdreht; in diesem Falle lagert sich das Blut in einer dünnen Schicht an der Wand der Kugel, und ist dann sehr leicht auszupumpen. Nach beendigtem Auspumpen ist das zurückgebliebene Blut ganz trocken und pulverförmig.

Als der Recipient unter Anwendung des Schliffes 4 an der Pumpe angebracht ist, so bleibt doch ein wenig Luft zwischen dem Hahne *f* der Pumpe und dem Hahne *c* des Recipienten. Diese Luft wird entfernt, indem man den Hahn *f* (bei geschlossenem Hahne *c*) öffnet und die dabei in die Pumpe eindringende Luft in gewöhnlicher Weise her austreibt.

Wenn dann, bei wieder gemachter Luftleere in der Pumpe, die Hähne *c* und *f* geöffnet werden, so geräth das Blut in gewaltiges Kochen, besonders wenn man, wie ich es in meinen Versuchen gemacht habe, den Recipienten in Wasser von etwa 40° C. eintaucht. Dabei kann es sich ereignen, dass das Blut schäumt und in die Pumpe hinübertritt. Dieser Uebelstand wird aber vollständig vermieden, wenn man den Hahn *c* vorsichtig, und zwar nur so weit öffnet, dass die Entgasung mit genügender, nicht allzu grosser Geschwindigkeit er-

folgt. Bei fortschreitender Entgasung kann man den Hahn weiter öffnen.

Um mich davon zu überzeugen, dass das Blut vollständig entgast ist, gebe ich genau Acht darauf, dass beim Oeffnen des Hahnes *d* (nachdem das Quecksilber bis dahin getrieben wurde) auch nicht die kleinste Luftblase von *D* nach *C* hinübertritt.

Da es bei diesen Versuchen vor Allem nothwendig ist, dass die zur Verdünnung benutzte Luft vollständig kohlenstofffrei sei, ist es nothwendig, die ganze Röhrenleitung von dem Natronkalkrohr bis zum Hahne *g* der Luftpumpe mit kohlenstofffreier Luft zu füllen. Dies geschieht ganz einfach in der Weise, dass man durch Senken des Hg-Gefässes der betreffenden Pumpe durch diese Leitung genügend viel Luft hindurchsaugt und sie dann, durch Umdrehen des Hahnes, wieder durch das Rohr *6* heraustreibt.

Das in der Pumpe enthaltene Gasgemenge ist, wie aus der vorhergehenden Darstellung hervorgeht, mit Wasserdampf vollständig gesättigt.

Die Temperatur des Gases wurde mittels eines neben der Luftpumpe aufgehängten Thermometers bestimmt.

Der Barometerdruck des Gasgemenges war gleich dem äusseren Barometerdruck, denn bei der Verdünnung der Blutgase wurde der Hahn *g* so lange offen gehalten, dass der Druck in *C* gleich dem äusseren Luftdruck war, was sich übrigens durch den Manometer kontrolliren liess.

Um die Leistungsfähigkeit der Methode zu prüfen, nahm ich gleichzeitig Blutproben aus den beiden Carotiden eines Kaninchens. Wenn diese Proben hinsichtlich ihres durch die Analyse gefundenen CO_2 -Gehaltes unter einander eine gute Uebereinstimmung zeigten, so war dadurch die Leistungsfähigkeit der Methode erwiesen — natürlich unter der Voraussetzung, dass diese Uebereinstimmung keine zufällige war, sondern bei wiederholten Versuchen immer wieder erschien.

Es dauerte lange, bis ich alle die kleinen Kunstgriffe lernte, welche hierbei nothwendig waren. Wie die folgende Tabelle aber zeigt, ist dies mir endlich gelungen.

Die darin aufgenommenen Versuche stellen eine ununterbrochene Reihe von Versuchen dar. Nur zwei Versuche sind hierbei ausgeschlossen, in dem einem Falle, weil die Messkugel *A* (Fig. 1) im Apparat I nach Entnahme der Probe ein Luftbläschen enthielt, und in dem zweiten Falle, weil etwas Hg darin zurückgeblieben war.

Im Anfange glaubte ich die Gerinnung vermeiden zu müssen und versetzte daher die Blutproben mit einer 2 proc. FNa -Lösung. Nach-

dem ich bei dieser Anordnung sehr gut übereinstimmende Resultate erzielt hatte, machte ich einen Versuch in der Weise, dass ich die eine Blutprobe mit FNa versetzte, die andere dagegen unter Beobachtung der oben dargestellten Vorsichtsmaassregeln gerinnen liess. Wie die Tab. I (Versuch VIII) zeigt, wurde auch hier eine vollständige Ueber-

Tabelle I. Quantitative Bestimmung der Kohlensäure in zwei gleichzeitig genommenen Proben arteriellen Blutes.

Versuch		Luftdruck	Apparat I			Apparat II			Differenz der Vol.-Proc. CO ₂ im Blute
Nummer	Datum 1900		CO ₂ in der Luftpumpe pro mille	Temperatur	Vol.-Procent CO ₂ im Blute	CO ₂ in der Luftpumpe pro mille	Temperatur	Vol.-Procent CO ₂ im Blute	
I	11./IV.	752	1.700 1.700	19.1	39.617	1.990 2.030 1.968	19.5	39.602	0.015 ¹
II	14./IV.	745	1.804 1.802	22.0	41.005	2.078 2.080	22.2	40.298	0.712 ^{1,2}
III	21./IV.	759	1.184 1.180	21.2	27.514	1.412 1.362	21.2	27.544	0.030 ¹
IV	23./IV.	764	1.540 1.558	21.2	36.299	1.810 1.808	21.4	36.132	0.167 ¹
V	24./IV.	753	2.320 2.310	19.7	53.859	2.722 2.670 2.724	19.6	53.715	0.144 ¹
VI	26./IV.	756	2.186 2.194	19.7	51.158	2.600 2.586	19.7	51.674	0.516 ¹
VII	2./V.	763	1.532 1.528	19.3	36.150	1.808 1.828	19.2	36.666	0.516 ¹
VIII	4./V.	759	1.740 1.742	21.6	40.445	2.040 2.012 2.014	21.8	40.029	0.416 ³
IX	5./V.	762	1.950 1.954	21.4	45.574	2.272 2.274	21.4	45.273	0.301 ⁴
X	9./V.	760	1.518 1.500	20.0	35.388	1.742 1.742	20.0	34.851	0.537 ⁴

¹ Blut mit FNa versetzt.

² Im Apparat I kocht das Blut über.

³ Apparat I mit FNa versetzt; Apparat II ohne FNa.

⁴ Beide Apparate ohne FNa.

einstimmung erzielt. Dann machte ich endlich Versuche ohne Zusatz von Flna und bekam auch dabei gut übereinstimmende Werthe.

Von jeder Luftprobe wurden immer mindestens zwei Analysen gemacht.

Die Auspumpung erfolgt in weniger als $\frac{3}{4}$ Stunde. Präparation, Probeentnahme, Entgasung, Doppelanalysen der beiden Luftproben, Reinigung der Apparate zur Probeentnahme (was eine ziemlich lange Zeit beansprucht), sowie die Herstellung der Luftleere in den Pumpen, kurz, ein ganz vollständiger Doppelversuch beansprucht, wenn keine Zwischenfälle eintreten, kaum eine Zeit von 4 Stunden.

Die Differenz der Vol.-Procente CO_2 im Blute beträgt höchstens 0.712 (Versuch III; dabei fand aber der Fehler statt, dass das Blut im Apparat I schäumte), bezw. 0.537 (Versuch X), und ist im Mittel aller Versuche 0.335. Wenn man das Mittel aller Bestimmungen berechnet, so erhält man für Apparat I: 40.700 und für Apparat II 40.578 Vol.-Proc. Die Differenz beträgt nur 0.122 Vol.-Proc.

Es scheint mir also, dass die Methode zu dem von mir beabsichtigten Zwecke genügt. Bis jetzt habe ich nach derselben noch einige vergleichende Analysen des arteriellen und des venösen Blutes (aus dem rechten Herzen), sowie des Erstickungsblutes in verschiedenen Momenten der Erstickung ausgeführt. Die Anzahl dieser Versuche ist nur gering, ich will indess dieselben als weitere Proben hier mittheilen.

Tabelle II. Vergleichende Analysen des arteriellen und des venösen Blutes.

Versuch		Arteriellcs Blut				Venöses Blut			Differenz der Vol.-Proc. CO ₂ im Blute
Nummer	Datum 1900	Luftdruck	CO ₂ in der Luftpumpe pro mille	Temp. und Apparat	Vol.-Proc. CO ₂ im Blute	CO ₂ in der Luftpumpe pro mille	Temp. und Apparat	Vol.-Proc. CO ₂ im Blute	
XI	19./V.	748	1.564	17.2	} 31.056	1.728	17.2	} 40.428	9.372
			1.548	II		1.728	I		
XII	23./V.	754	1.702	19.9	} 39.705	2.502	20.0	} 49.651	9.946
			1.710	I		2.502	II		
XIII	28./V.	766	1.042	18.1	} 21.130	1.558	18.1	} 37.176	16.046
			1.034	II		1.558	I		
XIV	31./V.	770	0.750	20.9	} 17.744	1.234	20.8	} 24.940	7.196
			0.750	I		1.236	II		

Tabelle III. Vergleichende Analysen des arteriellen und des Erstickungsblutes beim Kaninchen.

Versuch		Luftdruck	Arteriellcs Blut			Erstickungsblut			Differenz der Vol.-Proc. CO ₂ im Blute
Nummer	Datum 1900		CO ₂ in der Luftpumpe pro mille	Temp. und Apparat	Vol.-Proc. CO ₂ im Blute	CO ₂ in der Luftpumpe pro mille	Temp. und Apparat	Vol.-Proc. CO ₂ im Blute	
XV	11./V.	760	2-178	19-5	43-705	2-322	19-6	54-400	10-695
			2-180	II		2-308	I		
XVI	12./V.	759	2-014	18-4	40-884	2-274	18-4	53-424	12-540
			2-046	II		2-252	I		
XVII	14./V.	763	1-396	19-7	32-887	2-030	19-8	40-677	7-790 ¹
			1-396	I		2-016	II		
XVIII	21./V.	756	2-146	17-1	43-462	2-202	17-0	52-201	8-739
			2-162	II		2-208	I		
XIX	29./V.	763	1-666	17-5	33-922	2-042	17-5	48-583	14-661
			1-670	II		2-034	I		

Was in diesen Tabellen am meisten auffällt, sind die grossen Variationen im Gehalte des arteriellen Blutes an Kohlensäure. Die Zahlen für das Vol.-Procent in der Tab. I bewegen sich zwischen 27-5 und 53-9; in der Tab. II zwischen 17-7 und 39-7; in der Tab. III zwischen 32-9 und 43-7.

In welcher Weise diese Variationen zu deuten sind, darüber wage ich nicht mich auszusprechen. Angesichts der grossen Uebereinstimmung in der Zusammensetzung der Parallelproben desselben Blutes kann ich mir nicht gut vorstellen, dass diese Variationen von methodischen Fehlern bedingt wären. Wenn sie aber thatsächlich existiren, so zeigen sie, dass unsere Kenntnisse von dem Vorkommen u. s. w. der Kohlensäure im Blute noch in mehrfacher Hinsicht erweitert und vertieft werden müssen.

Die Methode betreffend, will ich endlich erwähnen, dass ich ihre Zuverlässigkeit auch in der Weise geprüft habe, dass ich die Vorrichtung, um CO₂-freie Luft herzustellen, die Pumpen und den Apparat für die Probeentnahme der Reihe nach controlirt habe.

Wenn die Pumpen mit der Luft gefüllt wurden, welche das Natronkalkrohr passiert hatte, wurde in dieser Luft ein CO₂-Gehalt von 0-002

¹ Die Erstickung dauerte nur kurze Zeit.

pro Mille gefunden — was ganz innerhalb der Grenzen der Analysenfehler liegt.

Wenn die Apparate zur Probeentnahme mit je 1^{cem} der bei den Versuchen angewandten FlNa-Lösung beschickt und dann wie gewöhnlich ausgepumpt wurden, so zeigte der Apparat I einen CO₂-Gehalt von 0.024 und der Apparat II einen von 0.021 pro mille, was in Vol.-Procenten der benutzten Lösung 0.581 bzw. 0.434 beträgt. Bei den Versuchen, wo die FlNa-Lösung dem Blute zugesetzt wurde, kam davon nur etwa $\frac{1}{3}$ ^{cem} zur Verwendung. Der Fehler, der durch den Gehalt der Lösung an CO₂ entstehen konnte, betrug also nur etwa 0.290, bzw. 0.217 Vol.-Procent.

Die Apparate functioniren also mit genügender Genauigkeit.

Ueber die Genauigkeit, welche bei den Analysen erreicht wurde, lassen sich Aufklärungen erzielen aus den Doppelanalysen in den Tab. I, II und III. Diese ergeben, dass die Abweichung zweier Analysen derselben Luftprobe im Mittel 0.014 pro mille beträgt. Dies ergiebt in Vol.-Procenten der Apparate zur Probeentnahme 0.361 (App. I) bzw. 0.309 (App. II).

Die Differenz zweier gleichzeitig genommener Proben derselben Blutart ist nach der Tab. I im Mittel 0.335. Die Analysen zweier gleichzeitig genommener Proben derselben Blutart geben also Zahlen, welche im Mittel um so viel von einander abweichen, als durchschnittlich die Analysen einer und derselben Gasmenge.

Dies zeigt, dass die Vorrichtungen zur Probeentnahme, Auspumpen u. s. w. mit grosser Exactheit functioniren.

Kurze pharmakologische Mittheilungen.¹

Von

C. G. Santesson.

(Aus dem pharmakologischen Laboratorium des Carolinischen Institutes zu Stockholm.)

1. Einiges über die Wirkung des Sabinaöls.

Den Anlass zu einigen Versuchen über die Wirkungen des Sabinaöls gab ein in Schweden neulich vorgekommener, an sich recht interessanter Gerichtsfall, wobei Sabina-Drogue als Fruchtabtreibungsmittel benutzt worden war. Ehe ich über den betreffenden Fall berichte, mögen zum besseren Verständniss desselben folgende Bemerkungen vorausgeschickt werden.

Das schwedische Strafgesetz (Kap. 14 § 26) erfordert, wenn Jemand für das Verbrechen der Fruchtabtreibung verurtheilt werden darf, dass der Causalzusammenhang zwischen der That (dem Fruchtabtreibungsversuche) und dem Erfolge (dem Abortus) sicher nachgewiesen werden kann. Wenn dieser Nachweis nicht möglich ist, kann die betreffende Person für den Versuch des Verbrechens zu einer milderer Strafe verurtheilt werden, wenn nur das nachweislich in der angegebenen Absicht benutzte Mittel im Allgemeinen als **effectiv** angesehen wird. Ist das aber nicht der Fall, so wird die Angeklagte frei gesprochen.

Der erwähnte Fall verlief wie folgt:

Eine junge, unverheirathete Frauensperson hatte vor einem Untergericht schon zugegeben, dass sie, um ihre Frucht abzutreiben, einen Absud von Sabina-Drogue längere Zeit hindurch genommen und nachher thatsächlich abortirt hatte. Die Sache schien ganz klar zu sein, und sie wurde wegen Fruchtabtreibung verurtheilt. Das höhere Ge-

¹ Der Redaction am 21. September 1900 zugegangen.

richt („Hofrätten“) fand aber bei Prüfung des abgegebenen Urtheils die Sache unklar. Der Zusammenhang war nämlich folgender:

Da die Frau sich etwa im vierten Schwangerschaftsmonate befand, fing sie nach einigen vergeblichen Abtreibungsversuchen mit Saffran an, einen Absud von Sabina-Drogue täglich in kleinen Portionen während längerer Zeit zu trinken. Sie fuhr damit etwa 50 Tage fort und soll angeblich im Ganzen 200^s der in einer Apotheke gekauften Drogue verbraucht haben. Durchschnittlich hatte sie also täglich einen Absud von 4^s Drogue zu sich genommen — eine nicht ganz geringe Gabe. Andererseits muss hervorgehoben werden, dass das Kochen natürlicher Weise dazu geeignet war, einen vielleicht nicht unbeträchtlichen Theil des flüchtigen Oeles aus der Flüssigkeit auszutreiben.

Die Frau fühlte sich einige Male nach der Einnahme grösserer Mengen des Absudes zufällig übel; eine ernste Krankheit — acute oder chronische — schien sie sich dagegen nicht zugezogen zu haben. Da sie nach der eben erwähnten Zeit keine Wirkung des Mittels verspürte, hörte sie mit der Einnahme desselben auf. Während der folgenden Zeit schien sie im Ganzen gesund gewesen, besuchte bekannte Leute u. s. w. Etwas mehr als einen Monat, nachdem sie mit der Einnahme von Sabina aufgehört hatte, war sie ebenfalls ausserhalb zu Besuch gewesen. Bei der Heimkehr wurde ihr heftig unwohl und sie abortirte ganz allein, so plötzlich, dass sie nicht Zeit fand, sich nieder zu legen, sondern die Frucht zu Boden fallen liess. Das Kind, welches sie kurz nachher selbst im Ofen verbrannte, schien nach den Angaben der Frau bei der Geburt schon macerirt gewesen zu sein: an der wenigstens 5 Monate alten Frucht hatte nämlich die Mutter wohl den Kopf, den Rumpf und die Extremitäten, aber weder die Gesichtszüge, noch die Finger beobachten können. Nach dem Unfalle schien die Frau sehr bald sich wieder erholt zu haben; irgend ein bestehendes Leiden wird nicht erwähnt.

Bei der Behandlung des Falles vor dem höheren Gericht wurde die Aufmerksamkeit auf den langen Zeitraum hingelenkt, der zwischen dem Aufhören der Giftaufnahme und dem Abortus verflossen war, und man fragte sich, ob nicht vielleicht der Abgang der Frucht auch unabhängig von dem genommenen Mittel hätte stattfinden können. In solchem Falle könnte die Frau nicht wegen einer wahren Frucht-abtreibung, sondern höchstens nur wegen des Versuches verurtheilt werden. Es wurde deswegen einigen Sachverständigen die Frage vorgelegt, in wie weit das gebrauchte Mittel die so lange Zeit nachher erfolgte Geburt hätte hervorrufen können. Die Frage

wurde mit Nein beantwortet. — Zwar war die verbrauchte Menge von Sabina nicht unbedeutend, und dazu kam noch, dass die Frucht vielleicht schon während der Zeit, als das Abortivmittel genommen wurde, abgestorben war, nachher während eines Monates und noch länger in todttem Zustande in utero getragen und schliesslich in Folge einer zufälligen Anstrengung oder dergleichen ausgestossen worden war.

Gegen die Annahme eines solchen Verlaufes als sicher oder wahrscheinlich konnten aber schwer wiegende Gründe angeführt werden. Es sind keine Fälle sicher bekannt geworden, wo Sabina in dieser chronischen Art gewirkt hat.¹ Sämmtliche Fälle sind acute Vergiftungen: schwangere Frauen haben Sabina genommen, sind an demselben Tage heftig krank geworden, litten an schweren Symptomen vom Magen und Darm, zuweilen an Peritonitis u. s. w. In mehreren dieser Fälle erfolgte Abortus binnen einigen Stunden oder Tagen; oft sind die Frauen kurz nachher gestorben, einige Male haben sie ihre Gesundheit wieder gewonnen. In einer anderen Gruppe von Fällen sind die Frauen mehr oder weniger schwer vergiftet worden — einige starben sogar — ohne dass die Frucht abging. Aus den Protokollen des hier besprochenen Gerichtsfalles geht aber, wie oben erwähnt, nicht hervor, dass die Frau bei irgend einer einzelnen Gelegenheit schwerer krank oder während einiger Zeit durch das Gift stärker angegriffen gewesen ist. Und dies müsste doch wohl vorausgesetzt werden, damit man bestimmt behaupten dürfte, dass ein Gift, wie Sabina, ihre Frucht getödtet hätte. Die Ursache des Absterbens der Frucht könnte vielleicht statt dessen Lues des Vaters gewesen sein; die scheinbar völlige Gesundheit der Mutter spricht bekanntlich nicht dagegen. Wenn man auch die Möglichkeit eines Zusammenhanges zwischen der Einnahme von Sabina und dem Tode der Leibesfrucht nicht absolut sicher leugnen kann, ist man doch sehr weit davon entfernt, einen solchen Zusammenhang als bewiesen anzusehen, so dass man darauf ein fallendes Urtheil hätte stützen können. Uebrigens muss daran erinnert werden, dass die Frau die Droge kochte, wodurch diese sicherlich an Wirksamkeit nicht unbeträchtlich einbüsste.

Wenn also auch die Antwort der Sachverständigen auf Grund unseres jetzigen Wissens als für den hier besprochenen Fall unzweifelhaft als richtig betrachtet werden muss, stellte sich doch für mich im Allgemeinen die Frage auf: wäre es nicht möglich, dass mässige

¹ Vgl. z. B. L. Lewin und M. Brenning, *Die Fruchtabtreibung durch Gifte*. Berlin 1899.

Gaben von Sabina, während längerer Zeit verabreicht, allmählich schleichende pathologische Veränderungen innerer Organe hervorrufen könnten — Veränderungen, die schliesslich das Absterben der Frucht und den Abortus herbeizuführen im Stande wären? Es ist bei uns in Schweden sicherlich nicht ungewöhnlich, dass die Fruchtabtreibung durch Phosphor gut gelingt; und dies kommt eben meistens in solchen Fällen vor, wo sehr kleine Gaben längere Zeit benutzt wurden. Die pathologischen Processe sind dabei weniger stürmisch, können aber doch zuletzt die Circulation der Gebärmutter und der Placenta in der Art stören, dass der Tod der Frucht und der Abortus folgen. In Bezug auf Sabina hat man wohl, wie beim Phosphor, an eine fettige Degeneration, eventuell mit Blutungen, als Folge einer solchen chronischen Vergiftung am meisten zu denken. Das wirksame Princip, der Sabinadrogue ist, nach Allem zu urtheilen, das darin vorkommende ätherische Oel. Von mehreren solchen Oelen oder von gewissen darin befindlichen Körpern — wie z. B. Sassafrasöl mit Safrol, Thymol in Thymianöl, Rosmarinöl, Ol. aeth. Menthae Pulegii (sowie auch von Chloroform, Benzol)¹ u. s. w. — ist bekannt, dass sie eine mehr oder weniger ausgeprägte Neigung besitzen, eine fettige Degeneration der Leber, der Nieren und des Herzens hervorzubringen. Es wäre ja dann nicht unmöglich, dass das wenigstens bei acuter Einwirkung recht giftige Sabinaöl sich ähnlich verhalten könnte.

Um die hier aufgeworfene Frage etwas zu beleuchten, wurden einige Versuche an Kaninchen ausgeführt, deren Organe nachher einer mikroskopischen Untersuchung unterworfen wurden. Wohl könnte es besonders interessant erscheinen, die Experimente an trächtigen Thieren auszuführen, um zu untersuchen, ob die Behandlung den Abortus herbeiführte. Da aber Kaninchen ihre Jungen sehr leicht werfen, und da es übrigens eigentlich meine Absicht war, zu studiren, in wie weit das Mittel überhaupt eine Neigung, Fettdegeneration hervorzurufen, besass, wurden zu den Versuchen gewöhnliche, nicht-trächtige Thiere benutzt. Sie wurden meistens mit Sabinaöl vergiftet, das entweder subcutan, oder durch Schlundcatheter per os beigebracht wurde; auf dem letzterwähnten Wege wurde auch Sabinainfus, mit oder ohne Zusatz von Sabinaöl, gegeben.

Ich theile hier zuerst zwei Versuche mit, wo Sabinaöl subcutan eingespritzt wurde.

Versuch I. 28. October 1899 angefangen. Kaninchen, 1343^g, erhielt an demselben Tage, sowie am 30. und 31. October und am 1. No-

¹ Vgl. *dies Archiv.* 1899. Bd. X. S. 1.

vember täglich 1^g Sabinaöl (unverdünnt) subcutan. Keine Infiltration an den Injectionsorten zu fühlen.

2. November. Körpergewicht 1120^g. Keine Einspritzung mehr. Sehr schlaff, kann in abnorme Lagen gebracht werden. Wurde mit einigen Tropfen Chloroform getödtet. Unmittelbar nachher

Section. Rund um einen grossen Theil des Rumpfes ist das subcutane Bindegewebe glasig ödematös, mit gelblichem, trübem Aussehen: die Muskeln matt graulich. Starker, terpentinähnlicher Geruch. Lungen: nichts Bemerkenswerthes. — Herz: die Musculatur streifenweise etwas gelblich. — Leber: blutreich. — Nieren: innerer Theil der Pyramide sehr blass, der äussere Theil angeschwollen, durch einen etwas gelblich-grauen Streifen von der inneren, blassen Partie abgegrenzt. — Unmittelbar vorgenommene mikroskopische Untersuchung am frischen Material ergab: in den Herzmuskelzellen, sowie in den Nierenepithelien zahlreiche Körner, die doch nicht wie Fett aussahen, sowie in den Leberzellen recht viele Fettkügelchen. — Der Harn enthielt Eiweiss (Heller's Probe). Die Harnblase beherbergte übrigens eine dunkelbraune, beinahe säcalähnliche Masse, die, mikroskopisch betrachtet, aus einer Menge unregelmässiger, gelber, stark lichtbrechender, in Wasser nicht löslicher Körner bestand; (zerfallene Blutkörperchen nach einer Blutung? An der Blasenschleimhaut konnte keine Blutungsquelle entdeckt werden.) Serum des Herzblutes klar, nicht milchig getrübt.

Mikroskopische Untersuchung. Stückchen vom Herzen, Leber und Nieren wurden in Osmium, solche der beiden letzterwähnten Organe auch in Müller's Lösung gehärtet, in Paraffin eingebettet, mit Mikrotom geschnitten und mit Xylol-Canadabalsam behandelt. Die Müller-Schnitte wurden mit Hämatoxylin-Eosin gefärbt,

Herz (Osmium) wies nichts Abnormes auf.

Leber. Osmiumpräparate: Sehr viel Pigment; nur wenig schwarz gefärbtes Fett. In zahlreichen Zellen leere, zum Theil recht grosse Vacuolen. Müller-Präparate zeigen auch herdweise Vacuolisirung der Zellen. Die Leber ist offenbar der Sitz eines gelinden, pathologischen Processes.

Nieren. Osmiumpräparate: In vereinzelten Harncanälchen enthielten die Epithelzellen fein vertheiltes Fett in geringer Menge, am meisten an der Mark-Bindengrenze; in etlichen Zellen wurden auch kleine Vacuolen beobachtet. — Müller-Präparate: Keine recht ausgeprägten Veränderungen. Rund um ein Bündel grosser Gefässe war ein Erguss, theils aus Blut, theils aus geronnenem Plasma mit Leukocyten bestehend, zu sehen.

Versuch II. 28. October 1899. Kaninchen, 1034^g, erhielt an demselben Tage, sowie am 30. und 31. October, ein Mal täglich 0.5^g Sabinaöl subcutan. Die Körpertemperatur blieb normal bis zum Tage vor dem Tode des Thieres, da sie auf 37.8° herabsank. Das Gewicht nahm rasch ab. — Am 1. November, früh Morgens, wurde das Thier todt und starr angetroffen. Körpergewicht 831^g.

Section. An der rechten Hälfte des Bauches wiesen das Unterhaut-

bindegewebe und die Muskeln dasselbe Aussehen wie in Versuch I auf. Starker Terpentingeruch. — Lungen: hyperämisch; einige kleine subpleurale Blutungen (?). — Herz: linke Kammer stark contrahirt; ihre Musculatur zieht ein Wenig ins Gelbe. — Leber: blutreich, enthielt eine Menge von Coccidiennestern. — Nieren: Rinde dünn; äusserer Theil der Pyramiden blutreich, angeschwollen. — Harn enthielt wenig Eiweiss (Heller), im Sediment grobkörnige Cylinder.

Mikroskopische Untersuchung. Herz (Osmium): Diffus und fein vertheilt, recht zahlreiche Fettkörner in den Muskelzellen.

Leber (Osmium): Kein schwarz gefärbtes Fett; nur an einzelnen Stellen kleine Vacuolen.

Nieren. Osmiumschnitte: Zahlreiche Kugeln und Schollen in den Harncanälen; die Epithelien zum Theil angeschwollen (Nephritis?)¹ Feine Fettkörner kommen recht diffus verbreitet, doch nur an begrenzten Stellen, reichlicher in den Epithelzellen vor; grössere Fetttropfen sparsam (gelinde „Fettdegeneration“). — Müller-Präparate wiesen besonders im äusseren Theil der Pyramide streifenweise eine bedeutende Hyperämie auf.

Bei Versuchen mit subcutanen Injectionen von Sabinaöl wurde während des Lebens nur eine Abnahme des Körpergewichtes (um etwa 16.6 und 19.6 Proc.) beobachtet; die Thiere wurden zuletzt gelähmt und starben nach 6 und 4½ Tagen. Trotz der recht grossen Gaben, 1 und 0.5^s täglich, waren die nachgewiesenen Veränderungen innerer Organe verhältnissmässig recht unbedeutend. In Fall I schien die Leber der Sitz eines gelinden, nicht näher bestimmbaren Processes zu sein, und die Nieren enthielten hier und da etwas Fett an der Mark-Rindengrenze. Fall II dagegen zeigte eine deutliche Fettdegeneration des Herzmuskels, sowie in den Nieren starke Hyperämie (partiell), gelinde Fettdegeneration und vielleicht auch schwache Nephritis.

Diese Versuche waren aber nicht ganz gut dazu geeignet, die aufgestellte Frage zu beantworten. Theils war der Verlauf recht schnell; die pathologischen Veränderungen fanden vielleicht nicht Zeit genug, sich zu entwickeln. Und weiter ist es auch möglich, dass die thatsächlich beobachteten Veränderungen innerer Organe in irgend einer Beziehung zu dem weit verbreiteten Prozesse in dem Unterhautzellgewebe (nach den Injectionen) hätte stehen können, da ja bekanntlich z. B. grosse Verbrennungen der Haut zu gewissen Störungen (Blutungen u. dgl.) in inneren Organen Anlass geben können.

¹ Auch in den Nieren normaler, d. h. in keinerlei Art behandelter, besonders älterer Kaninchen hat Elbe (Histologische Untersuch. über die Veränderungen . . . bei Jodoform- und Arsenintoxicationen. Diss. Rostock 1899. S. 29) hyaline Cylinder beobachtet. Der oben erwähnte, an Nephritis erinnernde Zustand der Nieren ist daher nicht sicher von der Vergiftung abhängig.

Aus diesem Grunde wurden, wie oben schon erwähnt, Versuche ausgeführt, wobei Sabina per os verabreicht wurde.

Versuch III. 7. Nov. 1899. Kaninchen, 2077 g, erhielt Sabinaöl in Sabinainfus (1:6), zuletzt in Dragantschleim durch Schlundcatheter in den Magen. Die Menge von Oel und Infus war täglich zusammen 10^{ccm}, die Menge von Oel und Schleim 20^{ccm}. Körpergewicht und Temperatur des Thieres, sowie die Gaben des Sabinaöles gehen aus der folgenden Tabelle hervor:

Tag	Körpergewicht g	Temperatur	Gabe Sabinaöl ccm	
7. Novbr.	2077	39.3° C.	0.5	
8. "	2170	39.1	1.0	
9. "	2082	38.3	1.5	
10. "	2224	39.4	2.0	
11. "	2113	39.2	2.5	
12. "	—	—	—	
13. "	2150	39.3	3.0	
14. "	2055	39.4	3.5	
15. "	1968	38.8	3.0	
16. "	1875	38.7	—	
17. "	1815	39.1	2.0	
18. "	1765	38.6	2.0	
19. "	—	—	—	
20. "	1695	39.0	2.0	
21. "	1674	38.9	2.0	
22. "	1640	38.7	2.0	
23. "	1605	38.0	2.0	in Dragantschleim.
24. "	1575	37.8	2.0	
25. "	1550	35.7	—	†

Am 24. November war das Thier sehr matt und schlaff, athmete langsam. Am folgenden Tage äusserst kraftlos, fiel oft um, hatte grosse, gelblich-weise, schleimige Darmentleerungen. Wurde 3^h 45' Nachmittags durch einige Tropfen Chloroform schnell getödtet. — Das Thier hatte also während der Versuchszeit, 19 Tage, 31^{ccm} Sabinaöl (im Mittel 1.6^{ccm} pro Tag) und nahe 100^{ccm} Sabinainfus bekommen und dabei 25.4 Proc. seines Körpergewichtes verloren.

Section wurde unmittelbar nach dem Tödteten des Thieres vorgenommen. — Aeusserst fettlos; subcutanes Fettgewebe total verschwunden. — Lungen: ein paar kleine subpleurale Blutungen, sonst normal. — Herz schlaff, enthielt flüssiges Blut. — Beim Eröffnen der Bauchhöhle schwacher Geruch nach Sabina. Etwas Fett um die Nieren. — Leber dunkel. — Nieren sehr blass, mit deutlicher, gelblicher Zeichnung an

der Mark-Rindengrenze. — Ventrikel, von festem Inhalt stark aus-
gespannt, roch intensiv nach Sabina. Schleimhaut blass, theilweise eigen-
thümlich weisslich, mit zwei kleinen Blutungen. — Harn enthielt Eiweiss
in reichlicher Menge (Heller), sowie im Sediment einige Cylinder, rothe
und weisse Blutkörperchen u. s. w.

Mikroskopische Untersuchung (nur Osmiumpräparate):

Herz. Keine deutlichen Veränderungen.

Leber. Zahlreiche, feine, diffus vertheilte Pigmentkörner; vielleicht
bestanden auch die dunklen Pünktchen zum Theil aus Fett; deutliche,
etwas grössere Fetttropfen kamen nur hier und da in einzelnen Zellen
vor. Recht verbreitete Vacuolisirung der Leberzellen.

Nieren. Mässige Nephritis (vgl. Versuch II, S. 233, Note; hier
hat doch die Diagnose Nephritis in der abnormen Beschaffenheit des Harns
eine stärkere Stütze). An der Mark-Rindengrenze etwas Fett in den Epi-
thelzellen (mehr als in Versuch I), zum Theil in grösseren Klumpen und
Tropfen, doch nur in einzelnen Canälen localisirt. Einige derselben ent-
hielten Fett in sehr reichlicher Menge, die meisten nur wenige
Tropfen. An mehreren Orten waren die mittelgrossen Fetttropfen in ein-
facher Reihe in der Nähe von Membrana propria angeordnet — in der-
selben Art, wie früher z. B. bei dem „späten Chloroformtod“, bei Benzol-
vergiftung beobachtet wurde.

Ventrikel. (Schnitte aus der Drüsenschicht, zeigen theils recht
grobe, schief- oder längsgeschnittene, theils zwischen diesen zahlreiche
schmalere, quergeschnittene Drüsenschläuche). Das Epithel hoch, im
Ganzen gut erhalten. Das Stützgewebe aus auffallend groben Balken,
deutlich, wenn auch nicht hochgradig vermehrt. Kleine Fettkörner kamen
sparsam in den Epithelzellen gewisser, besonders der schmalen, quer-
geschnittenen Drüsenschläuche vor.

Versuch IV. 7. November 1899. Kaninchen, 2097^g erhielt zu-
erst nur Sabinainfus (1 : 6), dann Infus mit Sabinaöl (von beiden zu-
sammen 10^{ccm}) versetzt, und schliesslich Oel in Dragantschleim — Alles
per os. Der Verlauf geht aus folgender Tabelle hervor:

Tag.	Körper- gewicht g	Temperatur	Gabe, Sabina ccm	
7. Novbr.	2097	39.6° C.	10	Infus.
8. „	2082	39.2	15	
9. „	2065	39.3	20	
10. „	2167	39.6	25	
11. „	2125	39.6	25	
12. „	—	—	—	
13. „	2090	39.8	1.0	Ol. in Infus.
14. „	2040	39.7	2.0	
15. „	1985	39.7	3.0	

(Fortsetzung.)

Tag	Körpergewicht g	Temperatur	Gabe, Sabina ccm	
16. Novbr.	1910	39.3° C.	2.0	
17. „	1865	39.7	2.0	
18. „	1820	39.2	2.0	
19. „	—	—	—	
20. „	1752	39.5	2.0	Ol. in Infus.
21. „	1715	39.4	2.0	Ol. in Schleim.
22. „	1685	39.5	2.0	„
23. „	1660	39.5	3.0	„
24. „	1611	39.8	3.0	„
25. „	1580	38.7	—	Keine Behandlung.
26. „	—	—	—	
27. „	1770	39.6	—	
28. „	1830	39.7	—	
29. „	1920	—	—	
30. „	1920	—	—	
1. Decbr.	1992	—	—	
2. „	1979	—	—	

Die Beobachtungen wurden unterbrochen. Das Thier schien wieder völlig normal. Es hatte während 18 Tage 150^s Sabinainfus und 24^s ätherisches Sabinaöl — also im Mittel 8.3^s Infus und 1 $\frac{1}{3}$ ^s Oel pro Tag — bekommen. Das Körpergewicht war am 25. November, als die Behandlung beendet wurde, um 24.7 Proc. gesunken, stieg dann in etwa einer Woche wieder 19.6 Proc. in die Höhe.

Ein Vergleich zwischen den Versuchen III und IV bietet ein sehr grosses Interesse dar. Die beiden fast gleich schweren Thiere wurden — zwar nicht ganz gleich — doch beide sehr energisch mit Sabinapräparat per os behandelt. Beide widerstanden zuerst etwa eine Woche der Behandlung, ohne dass das Körpergewicht herunterging oder andere erwähnenswerthe Störungen zum Vorschein kamen; dann fing ihr Körpergewicht an, continuirlich und ungefähr parallel abzunehmen, bis beide etwa $\frac{1}{4}$ desselben verloren hatten. Das eine Thier (Versuch III), dessen Temperatur während der letzten zwei Tage bedeutend sank, war zuletzt sehr schwach und wurde mittels Chloroform getödtet; das andere Thier dagegen wurde gleichzeitig ohne weitere Behandlung gelassen und gewann in etwa einer Woche nahezu sein früheres Körpergewicht wieder. Eben dieser Umstand, dass das Thier, welches die Vergiftung überlebte, nach dem

Aufhören der Zufuhr neuer Giftmengen sich so rasch erholte, spricht mit Sicherheit dafür, dass auch die hier benutzten grossen Gaben keine mehr tiefgreifenden Veränderungen der Organe hervorgebracht hatten.

Die Untersuchung desjenigen Thieres (Versuch III), das nach ähnlicher Behandlung getödtet wurde, bestätigt wohl im Ganzen die Berechtigung dieser Schlussfolgerung. Das Herz war gesund. Eine mässige acute Nephritis mit Auftreten einer geringen Menge Fett an der Mark-Rindengrenze, eine beginnende Gastritis (geringe Vermehrung des Stützgewebes), sowie ein gar nicht hochgradiger Process in der Leber (Vacuolisirung gewisser Leberzellen) waren die wesentlichen Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchung. Eine eigentliche Fettdegeneration war nirgends zu sehen. Uebrigens sei hervorgehoben, dass wahrscheinlich der Verlust an Körpergewicht und vielleicht auch ein Theil der übrigen Veränderungen einfach von der Inanition abhängig sein kann, da das Gift den Magen und den Darm angegriffen, den Appetit und die Digestion der Nahrung gestört hatte. Dass der Magen bei der Section voll von Ingesta angetroffen wurde, spricht nicht gegen diese Auffassung, da der Ventrikel des Kaninchens bekanntlich auch nach recht lange dauernder Nahrungsentziehung oft einen mächtigen, festen Futterballen enthält.

Wenn man also die für das Körpergewicht der Thiere bedeutenden Giftgaben, sowie die lange Wirkungsdauer berücksichtigt, kommt man wohl zu dem Schluss, dass die Sabina, vor Allem wenn sie per os gegeben wird, für Kaninchen ein verhältnissmässig schwaches Gift ist, dass auch auf die Dauer wenig geeignet erscheint, schwerere chronische Veränderungen, Fettdegenerationen u. dgl. hervorzurufen. — Es wäre ja möglich, dass der Mensch in dieser Beziehung empfindlicher als das Kaninchen sein könnte; der oben besprochene Gerichtsfall spricht aber nicht für eine solche Annahme.

Die beiden letzten Versuche (III und IV) bieten noch eine Eigenenthümlichkeit dar, die ich hier kurz besprechen möchte. Wie wir aus den Versuchstabellen ersehen, widerstehen die Thiere der Giftwirkung etwa eine Woche, ohne an Körpergewicht abzunehmen oder sonst merkbar zu leiden. Dann nimmt das Körpergewicht allmählich ab, und beim Tode findet man das Thier sehr arm an Fett. Einen ähnlichen Verlauf wiesen ein paar Versuche auf, wo Kaninchen mit Benzol in Olivenölemulsion per os chronisch bis zum Tode vergiftet wurden.¹

¹ Vgl. *dies Archiv*. 1899. Bd. X. S. 29 bis 36.

Diese Thiere widerstanden auch anfangs der Wirkung des Giftes, und vor Allem war dies mit dem einen Kaninchen der Fall, das vor der Benzolfütterung eine Zeit lang Olivenemulsion allein per os bekommen hatte. Ich wies schon bei Besprechung dieser Benzolveruche darauf hin, dass das Fett bei Vergiftung mit fettlösenden Substanzen wahrscheinlich eine schützende Rolle spielt. So lange der Körper fettreich ist, stört ein solches Gift anfangs nicht die Functionen und den Ernährungszustand. Wenn aber das sich anhäufende Gift — es verlässt meistens schwer und langsam den Körper — das Fett aufgelöst, umhergeführt („Fetttransport“) und zum Theil zusammen mit sich zur Ausscheidung gebracht hat, und gleichzeitig den Digestionscanal beschädigt, also den Ersatz des verbrannten und weggeführten Materiales hemmt, dann setzen die Symptome ein, das Körpergewicht nimmt schnell ab, die Kräfte verfallen allmählich, und zuletzt treten Lähmung und Tod ein.

Wenn man bei Vergiftung mit fettauflösenden Substanzen nach einer „fettigen Degeneration“ innerer Organe, d. h. nach einer abnormen Localisation des aufgelösten und umherwandelnden Fettes sucht, ist der Befund zuweilen ein recht reichlicher, nicht selten aber auch ein auffallend spärlicher oder geradezu ein negativer. Der wechselnde Erfolg einer solchen Vergiftung kann in mehreren Verhältnissen begründet sein. Abgesehen von Verschiedenheiten der Gaben, der Zufuhrwege und der Reinheit der betreffenden Giftpräparate, möchte ich noch darauf hinweisen, dass wahrscheinlich der anfängliche Nahrungszustand, besonders der Fettreichtum des Versuchsthieres, sowie auch die Beschaffenheit (der Fettgehalt) des Futters eine Rolle spielen. Auch hängt der Befund natürlicher Weise davon ab, in welchem Stadium der Vergiftung die mikroskopische Untersuchung vorgenommen wird — in dem Stadium eines lebhaften Fetttransportes bzw. Exportes oder in einem späteren Stadium, da das meiste Fett schon zum Theil weggeführt, zum Theil verbrannt ist.

2. Enthält das Curare Eiweiss?

Nach alten, nicht authentischen Quellen über die Bereitung des Curare findet man in den Handbüchern immer wieder die Ansicht oder die Vermuthung ausgesprochen, dass gewisse Thiergifte, besonders Schlangengifte, bei der Darstellung dieses Pfeilgiftes mit benutzt werden¹.

¹ Vgl. z. B. L. Lewin, *Die Pfeilgifte*. Berlin 1894. S. 141, wo der Zusatz gewisser Thiergifte — von giftigen Ameisen oder Schlangen herrührend — erwähnt wird.

Da unter den Wirkungen gewisser Schlangengifte auch die sog. Curarewirkung sich vorfindet¹, könnte eine Beimischung solcher Gifte möglicher Weise dazu geeignet sein, die Hauptwirkung des Gemisches zu verstärken. Es kommt ja nicht selten vor, dass die wilden Völker ohne jede wissenschaftliche Kenntniss derjenigen Naturgegenstände, die sie zu ihren Zwecken benutzten, zufälligen empirischen Erfahrungen folgend, doch das Richtige treffen.

Wichtige Thatsachen und Ueberlegungen sprechen doch gegen die Annahme, dass z. B. Schlangengifte und überhaupt Thiergifte (von Ameisen, Kröten oder dgl.) dem Curare zugefügt werden.

Diejenigen Forschungsreisenden, welche, wie z. B. Alexander v. Humboldt², Schomburgk³, Castelnau⁴, Appun⁵ und Crevaux⁶ die Bereitung des Curare selbst gesehen haben, und deren Berichte allein für ganz authentisch angesehen werden dürfen, sprechen nie von dem Zusatze irgend welcher Thiergifte oder Theile giftiger Thiere, wie Schlangenköpfe oder dgl. Einige, wie Schomburgk und Appun, sprechen sich sehr bestimmt gegen die Berichte über den Zusatz von Thiergiften aus; jener deutet an, dass solche Angaben sich nur auf die Räubergeschichten der Indianer stützen, die dadurch die Bereitung des Curare mit einem geheimnissvollen Schleier umgeben wollen. Thiergifte bilden also sicherlich nicht einen constanten oder hauptsächlichen Bestandtheil des Präparates.

Die einzigen Forscher der letzten Jahrzehnte, welche in Zusammenhang mit Untersuchungen über Curare von Schlangengiften sprechen, sind Couty und de Lacerda⁷; und sie haben in dem Curare kein Schlangengift gesucht, sondern nur die Wirkung südamerikanischer Schlangengifte mit denjenigen des Curare verglichen, wobei sie gefunden

¹ Vgl. E. Vollmer, *Arch. f. exper. Path. u. Pharm.* 1892. Bd. XXXI. S. 9 bis 12 (Versuche mit Cobragift).

² Alex. v. Humboldt und A. Bonpland, *Voyage dans l'intérieur de l'Amérique dans les années 1799 à 1804. Première partie. Relation historique.* 4^o. livraison. 1821. Paris N. Maze. p. 547—556.

³ R. Schomburgk, *Reisen in Britisch Guiana in den Jahren 1840 bis 1844.* Leipzig 1847. Bd. I. S. 450 u. fg.

⁴ Fr. de Castelnau, *Expédition dans les parties centrales de l'Amérique du Sud. Histoire de voyage.* Paris 1850. Vol. V. p. 21 ff. (Citirt nach Boehm, s. unten.)

⁵ C. F. Appun, *Unter den Tropen. Wanderungen durch Venezuela etc. in den Jahren 1849 bis 1868.* Jena 1871. Costenoble. Bd. II. S. 473 u. fg.

⁶ J. Crevaux, *Voyages dans l'Amérique du Sud.* Paris 1883. Hachette. S. 268. (Citirt nach Boehm.)

⁷ Couty und de Lacerda, *Archives de physiol. normale et pathologique.* 1880. Sér. II. T. VII. S. 563.

haben, dass diese Schlangengifte keine erwähnenswerthe Curarewirkung besitzen, also sicher nicht den Hauptbestandtheil des Pfeilgiftes darstellen können. Dagegen verneinen sie nicht ganz die Möglichkeit, dass Schlangengift unter den „substances accessoires“ im Curare vorkommen kann.

Wenn überhaupt ein Zusatz von Thiergiften stattfände, müsste das wohl meistens in der Art geschehen, dass ganz kleine Giftthiere oder Theile von solchen zugesetzt würden. Unter solchen Umständen müsste man wenigstens mikroskopisch kleine Bruchstücke thierischer Gewebe oft im Curare antreffen. Zwar wird angegeben, dass das wässrige Extract der Curare liefernden Pflanzentheile vor dem Einengen filtrirt werden, doch wird wohl diese Procedur in den Giftküchen der Indianer nicht so genau ausgeführt, dass keine animalischen Reste in dem fertigen Product hätten nachgewiesen werden können. Boehm hat aber in seinen grundlegenden Arbeiten über Curare¹ keine solchen Befunde erwähnt, und schriftlich hat er mir gütigst mitgetheilt, dass er beim Durchmikroskopiren zahlreicher verschiedener Curaresorten niemals irgend welche Thierreste gesehen hat.

Wenn auch also ein Zusatz von Thiergiften aus den angeführten Gründen als sehr unwahrscheinlich erklärt werden muss, so könnte es doch vielleicht nicht ganz ohne Interesse sein, nach einem für thierische Gewebe oder für die meisten giftigen Thiersecrete gewissermaassen charakteristischen Körper, z. B. nach Eiweiss zu suchen. Solches ist meines Wissens vorher nicht im Curare weder gesucht, noch nachgewiesen. Zwar könnte Eiweiss auch aus Pflanzentheilen stammen; doch ist es wenig wahrscheinlich, dass aus den zur Darstellung des Curare meistens benutzten Rinden — zu gewissen Sorten wird ja sogar hauptsächlich das Korkgewebe verwendet — erwähnenswerthe Mengen Eiweiss herausgezogen worden wären. Wenn auch also der Nachweis des Eiweisses noch lange nicht die Gegenwart von Thierresten, noch weniger von Thiergiften sicher bewiesen hätte, so würde er doch bis zu einem gewissen Grade für die Annahme des Zusatzes solcher Ingredienzen sprechen.

Wenn andererseits kein Eiweiss im Curare sich nachweisen liesse, wäre dadurch die Abwesenheit aller thierischen Elemente nicht unstreitig dargelegt. Es könnte das Eiweiss durch die Präparation der

¹ R. Boehm, Chemische Studien über Curare. Ludwig's *Festschrift*. Leipzig 1886. Weiter: Das südamerikanische Pfeilgift Curare. *Abhandl. d. math.-phys. Classe d. Kgl. Sächs. Gesellsch. d. Wiss.* 1895. Bd. XXII. Nr. III, sowie 1897. Bd. XXIV. Nr. I.

Curaremasse, vor Allem durch das lange dauernde Einkochen¹ derselben, sowie durch die jahrelange Aufbewahrung des Giftes in trockenem Zustande zerstört oder völlig unlöslich, also für den Nachweis unzugänglich gemacht worden sein. Doch lässt sich nicht leugnen, dass, wenn der Nachweis des Eiweisses nicht gelingt, die schon an sich hohe Wahrscheinlichkeit, dass Thiergifte nicht hinzugesetzt werden, noch mehr an Stärke gewinnt.

Mit diesen ausdrücklichen Reservationen nach beiden Seiten hin ist das Suchen nach Eiweiss im Curare vorgenommen worden. Die Gelegenheit zu dieser kleinen Untersuchung erhielt ich dadurch, dass der schwedische Zoologe und Forschungsreisende Dr. C. Bovallius, der längere Zeit in verschiedenen Theilen von Venezuela sich aufgehalten hat, neulich dem ethnographischen Museum in Stockholm mehrere Curare-Calebassen verschiedener Grösse zugeschiedt hat, von denen der Chef dieses Museums, Dr. Hj. Stolpe, vier Exemplare in der Droguensammlung des hiesigen Carolinischen Instituts deponirt und deren Inhalt mir gütigst zur Verfügung gestellt hat. Die Calebassen stammten aus dem Territorium Amazonas (Venezuela), drei mit der Marke „Indios Maquiritares, Rio Curucunuma“, und eins mit der Marke „Indios Piaroas, Rio Sipapo“.

Die hier kurz zu erwähnenden chemischen Versuche wurden unter meiner Leitung von Stud. med. E. Cederlöw in dem physiologischen Laboratorium des Carolinischen Instituts während des Herbstsemesters 1899 ausgeführt.

Versuch I. 10^g Curare wurden mit 50^{ccm} Wasser extrahirt und nachher filtrirt. Die wässrige Flüssigkeit coagulirte nicht beim Kochen (nach Zusatz von etwas Essigsäure), gab weder Heller's Probe, noch Biuret- oder Millon's Reaction. Die Xantoproteinreaction fiel schwach positiv aus; Alkohol und Gerbsäure gaben starke Niederschläge. Mit Pikrinsäure wurde die Flüssigkeit etwas trübe.

Der schwach positive Ausschlag der Xantoproteinreaction hat keine Bedeutung, da diese Probe auch in eiweissfreien, aber mit gewissen Farbstoffen oder dgl. verunreinigten Pflanzenextracten anscheinend positiv ausfällt. Andererseits muss hervorgehoben werden, dass bei Gegenwart von gewissen pflanzlichen Farbstoffen u. dgl. die Biuretprobe oft negativ oder unsicher erscheint, obgleich Eiweiss thatsächlich vorhanden ist. Der Niederschlag durch Alkohol kann zum grossen

¹ Dieses Kochen des Materials wird von den oben erwähnten Augenzeugen beschrieben, und die homogene Beschaffenheit der Masse setzt auch eine solche Behandlung voraus.

Theil aus Salzen bestehen, derjenige mit Gerbsäure aus Alkaloidtannaten u. s. w.

Diese Vorprobe (Versuch I) ergab also, dass das untersuchte Curare kein in Wasser lösliches und mit den gewöhnlichen Reactionen nachweisbares Eiweiss enthielt.

Da wohl annehmlicher Weise das in Wasser lösliche Eiweiss durch überschüssigen Alkohol niedergeschlagen werden muss, wurde folgender Versuch angestellt.

Versuch II. Eine neue Portion Curare wurde gleichfalls mit Wasser extrahirt und filtrirt, das Filtrat mit Alkohol in Ueberschuss gefällt, der Niederschlag wieder in Wasser gelöst, dann nochmals in derselben Art mit Alkohol behandelt und endlich in möglichst geringer Menge Wasser aufgelöst. Diese Lösung gab bei allen oben erwähnten Eiweissproben ein negatives Resultat — nur die Xantoproteinreaction war nochmals positiv.

Um eine Auflösung etwa vorkommender Globuline, Nucleoalbumine oder dgl. zu ermöglichen, wurde auch Extraction mit schwachem Alkali geprüft.

Versuch III. Eine Portion Curare wurde während zwei Tagen mit einer schwachen Sodalösung ausgelaugt und dann filtrirt. Das Filtrat wurde mit Essigsäure schwach angesäuert, wobei ein dicker Niederschlag entstand. Dieser wurde abfiltrirt und in Wasser mit Hülfe von etwas Essigsäure gelöst. Ein Theil dieser Lösung wurde zu Eiweissproben benutzt, die sämmtlich negativ ausfielen.

Der Rest dieser Lösung wurde mit überschüssigem Alkohol behandelt; der entstehende Niederschlag wurde abfiltrirt und in Wasser (mit stark brauner Farbe) gelöst. Diese Lösung gab bei Coagulations-, Biuret- und Heller's Proben ein negatives Resultat. Pikrinsäure, Ferrocyankalium (mit HCl) und Alkohol ergaben nur eine schwache Trübung, Gerbsäure einen braunrothen, flockigen Niederschlag. Xantoproteinreaction sehr schön positiv. Millon's Reaction gab eine trübe Flüssigkeit mit einem zu Boden sinkenden braunrothen Niederschlag.

Die Millon'sche Reaction war hier zwar nicht schön, doch vielleicht positiv. Den zahlreichen negativen Proben gegenüber lässt sie natürlicher Weise nicht den Schluss zu, dass Eiweiss zugegen war.

Ein ähnliches, negatives Resultat gab auch ein Versuch mit Extraction einer Curareprobe mittels starker Natronlauge. Es gelang also nicht, Eiweiss in der Art nachzuweisen, dass man es vorher in Alkalialbuminat überführte.

Zuletzt wurde noch eine Probe mit einer verhältnissmässig grossen Menge Curare ausgeführt, wobei wir uns zugleich bemühten, nachzuforschen, woraus das bearbeitete Material — der Alkoholniederschlag des wässrigen Extractes — eigentlich bestand.

Versuch IV. 46^s Curare wurden mit 200^{cem} Wasser gründlich extrahirt, wobei ein bedeutender Theil sich auflöste; nachher wurde filtrirt und dem Filtrat 800^{cem} Alkohol (96 Proc.) zugefügt, wobei ein starker, dunkel gefärbter Niederschlag entstand. Dieser wurde abfiltrirt, in wenig Wasser (vollständig) gelöst, nochmals in derselben Art mit Alkohol ausgefällt und der Niederschlag in Wasser gelöst. Ein kleiner Theil dieser Lösung wurde zu einigen Eiweissproben, die negativ ausfielen, benutzt. Der Rest der Lösung wurde zum dritten Mal in derselben Art mit Alkohol behandelt. Die mit der daraus hervorgehenden wässrigen Lösung ausgeführten Eiweissreactionen gaben folgende Resultate: Coagulationsprobe, Biuret-, Millon's und Ferrocyankaliumreactionen negativ; Heller's Probe gab an der Berührungsfläche eine dunkelbraune Färbung, oberhalb derselben ein sehr schwacher „Ring“ (Salze?); Gerbsäure — dunkler Niederschlag; Pikrinsäure — allmählich ein geringer Niederschlag; Xantoproteinreaction zweifelhaft oder negativ (rauchende Salpetersäure — schwach grün, beim Kochen halmgelb; nach Uebersättigung mit Ammoniak etwas deutlicher gelb).

In derselben Lösung wurde übrigens nachgewiesen — von Basen: Kalium, Calcium, Magnesium und Eisen; von anorganischen Säuren nur Schwefelsäure in geringer Menge, sowie zweifelhafte Spuren von Salzsäure und Phosphorsäure. Organischen Säuren, die wohl wahrscheinlich vorhanden waren, wurden nicht näher nachgeforscht.

In der alkoholischen Lösung, aus welcher der hier untersuchte Niederschlag (der dritte) abgeschieden worden war, wurden Curarebasen (nach Boehm) gesucht. Das Lösungsmittel wurde abgedampft und von dem trockenen Rückstande wurde eine kleine Probe auf einem Porzellandeckel mit concentrirter Schwefelsäure versetzt — schmutzig braune Farbe (von Blauviolett nichts zu sehen); mit concentrirter Salpetersäure — ebenso schmutzbraun (nicht blutroth).

Der übrige Rückstand wurde in Wasser gelöst. Eine Probe dieser Lösung, mit concentrirter Schwefelsäure unterschichtet, zeigte an der Berührungsfläche einen braunrothen Ring, der allmählich in Purpurroth (nicht Purpurviolett) überging.

Eine verdünnte Probe der Lösung gab im Reagenzglas mit viel Salpetersäure eine schwach rothe Farbe, die besonders in der Längsrichtung des Glases deutlich hervortrat. — Mit Platinchlorid wurde die Flüssigkeit trübe und setzte allmählich einen deutlichen, weissgelben Niederschlag ab.

In Bezug auf Eiweiss gab auch dieser letzte Versuch mit einer ziemlich grossen Curaremenge ein negatives Resultat. Der (dritte) alkoholische Niederschlag schien zum grossen Theil aus Verbindungen mit mehreren anorganischen Basen zu bestehen, wozu noch als Verunreinigungen Pflanzenfarbstoffe und (im zweiten Niederschlag wenigstens) auch wahrscheinlich kleine Mengen von Curarealkaloiden hinzukamen. Die Curarinreactionen fielen wohl nicht schön positiv aus;

das war aber bei der sicherlich geringen Menge der Alkaloide neben grossen Mengen anderer Substanzen nicht zu erwarten. Eine Toxici-
tätsprüfung der wässrigen Lösung des Alkoholniederschlags an Fröschen ergab auch eine deutliche Curarewirkung, die wohl sicher-
hlic auf absorbiertes Curarin zu beziehen war.

Wenn wir die Ergebnisse dieser — in vielen Beziehungen sehr
lückenhaften — kleinen Untersuchung zusammenfassen, kommt wohl
das Facit heraus, dass in den untersuchten Curareproben Ei-
weiss nicht nachgewiesen werden konnte. Damit ist, wie er-
wähnt, nicht bewiesen, dass nicht die Materialien zur Curarebereitung,
ja selbst die fertige trockene Curaremasse Eiweiss enthalten könnten —
nur dass dieses Eiweiss, wenn zugegen, in einer unlöslichen oder sonst
bei den geprüften Methoden nicht nachweisbaren Form vorkam.

Der Werth dieses Resultates für die Entscheidung der Frage, ob
Thiergifte oder Theile giftiger Thiere bei der Darstellung des Curare
benutzt werden, ist natürlicher Weise, wie oben schon hervorgehoben
wurde, ein recht begrenzter. Doch stützt es unstreitig die schon aus
anderen Gründen sehr wahrscheinliche Ansicht, dass Thiergifte bei
der Bereitung der untersuchten Curareproben nicht benutzt
worden sind.

Dem Herrn Professor R. Boehm in Leipzig, der sich für diese
Versuche über Curare gütigst interessirt hat, spreche ich hiermit
meinen ehrfurchtsvollen Dank aus. Ebenso ist es mir eine angenehme
Pflicht, Herrn Dr. Hj. Stolpe für das interessante Curare-Material
meinen verbindlichsten Dank abzustatten.

Stockholm, im September 1900.

Die Modalitäts- und Qualitätsbegriffe in der Sinnesphysiologie und deren Bedeutung.^{1,2}

Von

Hjalmar Öhrwall.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Upsala.)

Innerhalb der vielen, verschiedenartigen Forschungsgebiete der Physiologie wird gegenwärtig nach schon lange benutzten Methoden und Principien eifrig gearbeitet; es wird eine Detailarbeit in grosser Skala ausgeführt, die sehr fruchtbringend ist und deren Werth Verfasser dieses durchaus nicht herabsetzen will. Es will aber scheinen, als ob man etwas dahin neigte, gewisse principielle Fragen zu vernachlässigen, welche doch von recht durchgreifender Bedeutung und von grosser Wichtigkeit auch für die erwähnte Detailarbeit sein können; denn am Ende sind es doch stets gewisse Principien, welche den Specialuntersuchungen Richtung, Meinung und Werth verleihen, und es ist daher aus vielen Gründen nothwendig, dass diese Principien öfters besprochen werden, um sie zu erweitern, zu modificiren oder zu verwerfen.

Das soeben Gesagte gilt auch innerhalb des weiten Feldes der Sinnesphysiologie, und eine Principfrage oben angedeuteter Art scheint mir die Frage, betreffend das Verhalten der verschiedenen Sinne und Sinnesempfindungen zu einander, zu sein. Wie viele Sinne haben wir? Was ist zu einem gewissen Sinne zu zählen? Diese Fragen sieht man selten oder nie besprochen, und doch ist es einleuchtend, dass man, bevor man sich z. B. darauf einlässt, quantitative Bestimmungen über die Reizbarkeitsverhältnisse u. s. w. innerhalb eines Sinnes zu machen, sich erst klar machen muss, was zu diesem Sinne gehört und was nicht

¹ Der Redaction am 3. October 1900 zugegangen.

² Nach einem Vortrage auf der Naturforscherversammlung in Stockholm den 11. Juli 1898.

dahin gehört; eine Sache, die in vielen Fällen gar nicht so im Voraus entschieden ist, wie sich Mancher vorstellt.

In unseren physiologischen (und psychologischen) Hand- und Lehrbüchern behandelt man gewöhnlich den einen Sinn nach dem anderen, ohne sich darum zu kümmern, welcher Eintheilungsgrund befolgt wird, oder zu befolgen ist. Man nimmt die uralte Eintheilung in fünf Sinne¹ auf, ohne ein Wort davon zu sagen, was dabei den Eintheilungsgrund bildet. Man behandelt die Eintheilung in fünf Sinne als a priori gegeben, ohne zu bedenken, dass die alten Begriffe Gesicht, Gehör, Geruch, Geschmack, Gefühl ebenso wie die Begriffe Pflanze und Thier, Körper und Seele, Leben und Tod u. s. w. im Alterthum gebildet worden sind, als unsere Kenntnisse sowohl von uns selbst, als von der uns umgebenden Welt weit weniger umfassend waren, als jetzt, und dass diese Begriffe ebenso wenig wie irgend welche anderen nothwendig der Wirklichkeit entsprechen. Unsere Classificationen, Gattungen, Arten u. s. w. sind ja in der That nur Abstractionen, die wir uns schaffen, um unser unendliches Erfahrungsmaterial einigermaassen überschauen und ordnen zu können. Sie sind nicht nur nützlich, sondern geradezu nothwendig; doch darf man nie vergessen, dass sie wirklich nur Abstractionen sind, ausgeführt auf Grund des vorhandenen Materials, und keineswegs für immer festgelegt; sie müssen von Zeit zu Zeit revidirt und wenn nöthig geändert oder möglicher Weise aufgegeben werden, je nachdem unsere Kenntnisse sich mehren.

Sucht man zu erforschen, welches Princip der alten Eintheilung in fünf Sinne thatsächlich zu Grunde liegt, so ist dies keineswegs leicht zu beantworten; vielleicht könnte die comparative Philologie in dieser Beziehung werthvolle Aufschlüsse geben. Wahrscheinlich ist es das Sinnesorgan, oder richtiger das peripherische Sinnesorgan, welches der Eintheilung zu Grunde gelegen hat, indem man einsah, dass das Gesicht durch das Auge, das Gehör durch das Ohr, der Geruch durch die Nase, der Geschmack durch den Mund und das Gefühl durch die Haut vermittelt wird. Diese Organe sind ja im Ganzen gut getrennt, und ein solcher anatomischer Eintheilungsgrund liegt nahe. Eine Menge neuerer Erfahrungen aber hat die Sache verwickelter gemacht, als sie früher erschien, und bei näherer Ueberlegung erweist sich der in Frage stehende Eintheilungsgrund als unmöglich haltbar. Offenbare Tastempfindungen werden von vielen anderen Theilen unseres Körpers, als von der Haut ausgelöst, z. B. von verschiedenen

¹ Oft mit willkürlicher Einschlebung des einen oder anderen neuen Sinnes, wie z. B. des Muskelsinnes, Schmerzsinnes u. s. w.

Schleimhäuten, darunter auch von denen, welche Geruch und Geschmack vermitteln. Von den Bogengängen und den Otolitensäcken in dem inneren Ohre werden Empfindungen der Drehungen und der Lage des Kopfes ausgelöst, welche offenbar nicht das Geringste mit dem Gehör zu thun haben u. s. w. Die Sinne nach makroskopisch-anatomischen Verhältnissen einzutheilen geht einfach nicht, wenn man sich nicht auf das Auge beschränkt. Und nicht besser fällt der Versuch aus, wenn man von den mikroskopisch-anatomischen Verhältnissen ausgeht. Es giebt nämlich kein allgemein gültiges, histologisches Merkmal, mittels dessen man entscheiden kann, ob ein Organ überhaupt ein Sinnesorgan ist oder nicht, noch weniger giebt es solche, die uns in den Stand setzen, zu bestimmen, welche Organe zu dem einen Sinne, und welche zu einem anderen gehören. Alles, was sich auf diesem Wege erreichen lässt, sind nur Analogien, welche einen sehr zweifelhaften Werth haben, denn dass es gar nicht gesagt ist, dass das eine Sinnesorgan einen mit dem anderen analogen Bau hat, zeigt schon ein Vergleich zwischen den wenigen peripherischen Sinnesorganen, deren mikroskopische Natur wir etwas näher kennen.

Auch das sogenannte adäquate Reizmittel kann man nicht als Eintheilungsgrund für die Eintheilung der Sinne nehmen. Dies dürfte schon aus dem Umstande zu ersehen sein, dass, wie Helmholtz¹ hervorgehoben, ganz derselbe äussere objective Process ein adäquates Reizmittel für Sinne sein kann, welche Niemand auch nur einen Augenblick denken kann, zu einem einzigen zusammen zu schlagen. Ein Sonnenstrahl, welcher unsere Netzhaut trifft, wird als Licht aufgefasst, trifft er aber unsere Haut, so kann er als Wärme empfunden werden. Essig veranlasst ganz verschiedene Sensationen, je nachdem er die Schleimpapillen der Haut, oder die Membrana olfactoria (oder die Conjunctiva des Auges) reizt; man kann die Vibrationen einer dicken Saite sehen, sie mit der Hand als eine Erschütterung fühlen, mit dem Ohr als einen Ton hören.

Es ist ja sicher, dass eine Empfindung und deren äussere, objective Ursache zwei verschiedene Dinge sind, die wir genau von einander scheiden müssen. Dass Menschen im Allgemeinen dies nicht thun, ist ganz natürlich; mehr befremdet es, dass auch Männer der Wissenschaft sich so ausserordentlich schwer von den alltäglichen, aber unrichtigen Vorstellungen hierbei losmachen können, Vorstellungen, die zum Theil wohl darum so sehr schwer auszurotten sein dürften, weil die Sprache gewöhnlich mit demselben Worte die beiden verschiedenen Sachen be-

¹ Helmholtz, *Handbuch der physiol. Optik.* S. 193 (233).

zeichnet, die dann so verwechselt werden. So z. B. ist Licht einerseits eine Empfindung, welche ebenso wenig wie irgend eine andere Empfindung definirt oder auch nur näher beschrieben werden kann, die wir aber aus eigener unmittelbarer Erfahrung kennen; andererseits wieder heisst Licht auch die äussere objective Ursache, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen die eben genannte Empfindung hervorruft, nämlich die Lichtstrahlen, d. h. gewisse Aethervibrationen.¹ Auf dieselbe Weise ist Schall theils eine gewisse, Allen bekannte Empfindung, theils ihre äussere Ursache: die Schallwellen, Vibrationen von gewisser Schnelligkeit. Ebenso Wärme, Süss, Sauer u. s. w. Wenn man in wissenschaftlichen Darstellungen den zweideutigen Ausdruck für die Empfindung reservirte und anstatt Licht, Laut in objectiver Bedeutung stets solche Ausdrücke benutzte, wie z. B. Lichtstrahlen, Lichtwellen u. s. w., so würde vielen Missverständnissen vorgebeugt werden. Dieser Unterschied zwischen der Empfindung und deren äusserer objectiver Ursache ist ein Factum, das nicht zu bezweifeln ist und in jeder Sinnesphysiologie hervorgehoben werden dürfte, denn nichts ist gewöhnlicher, als dass dieser Unterschied übersehen wird. Aber auch Viele von denen, welche denselben einsehen und anerkennen, machen sich dessen Consequenzen dennoch nicht klar. Eine dieser Consequenzen ist auch die, dass eine Eintheilung der Sinne nach dem adäquaten Reizmittel als vollkommen unzeitgemäss betrachtet werden muss. Denn die neuere Forschung hat ja gezeigt, dass Wärme, Licht, Elektrizität objectiv betrachtet ganz dieselbe Sache sind, nämlich Wellenbewegungen, welche sich nur nach Länge und Frequenz von einander unterscheiden; und man braucht wohl kein Seher zu sein, um voraussagen zu können, dass auch die Schwerkraft und die chemischen Kräfte sich nur als dem Grade nach von den vorigen ver-

¹ Darauf weist bereits Newton in seiner Optik hin. „Wenn ich einmal von Lichtstrahlen als farbigen oder gefärbten Strahlen spreche, so ist dies nicht wissenschaftlich oder im strengsten Sinne zu verstehen, sondern als gewöhnlicher, volksthümlicher Ausdruck, entsprechend der Vorstellung, die sich das gemeine Volk beim Anblick dieser Versuche bilden würde. Denn streng genommen sind die Strahlen nicht gefärbt; in ihnen liegt nichts, als eine gewisse Kraft und Fähigkeit, die Empfindung dieser oder jener Farbe zu erregen. Denn ebenso wie der Schall einer Glocke oder Saite, oder eines anderen tönenden Körpers nichts Anderes ist als eine zitternde Bewegung in der Luft und das Gefühl dieser Bewegung in unserem Empfindungsorgane in Form eines Schalles, so sind die Farben an den Objecten nichts Anderes als ihre Fähigkeit, diese Bewegung bis in unser Empfindungsorgan zu verbreiten, und im letzteren die Empfindung dieser Bewegung in Gestalt von Farben“. Sir Isaac Newton's Optik. I. Ostwald's *Klassiker*. Nr. 96. S. 80.

schieden erweisen werden. Objectiv, physikalisch und chemisch betrachtet, giebt es also ganz gewiss zwischen den verschiedenen Energieformen nur quantitative Differenzen; die Qualitäten, könnte man sagen, entstehen erst in unserer Hirnrinde.

Es ist aber in der That nicht nur unzeitgemäss, sondern geradezu unmöglich, das äussere, objective Reizmittel der Eintheilung der Sinne zu Grunde zu legen, wenn man die Begriffe wirklich ganz klarlegen und sich nicht mit allgemeinen Redensarten begnügen will. Einige Beispiele sollen dies klarlegen. Welches ist das adäquate Reizmittel für den Gesichtssinn? Die Lichtstrahlen, d. h. Aethervibrationen; aber vielleicht alle beliebigen? Keineswegs, ihre Wellenlänge muss ungefähr zwischen 210 bis 812 Millionstel Millimetern (den äussersten Grenzen für das sichtbare Spektrum) liegen. Das Auge ist nämlich nicht den Aethervibrationen im Allgemeinen, sondern den Aethervibrationen von gewissen Längen angepasst, thatsächlich nur für eine ganz geringe Anzahl aller existirenden. Einige von diesen fassen wir auch mit unseren Wärmepunkten als Wärme auf. Diejenigen Strahlen, welche ausserhalb des rothen Endes des Spektrums liegen, werden nur von der Haut, nicht von der Netzhaut empfunden; sie verdienen nicht mehr den Namen Lichtstrahlen aus dem einfachen Grunde, dass man sie nicht sehen kann. Der Umstand, ob sie eine Lichtempfindung hervorrufen können oder nicht, muss hierbei offenbar entscheidend werden; sonst müsste man offenbar alle Aetherwellen Lichtstrahlen nennen, z. B. auch die elektrischen mit mehreren Metern Wellenlänge. Sieht man von unseren Empfindungen hierbei vollständig ab, oder, was dasselbe ist, von der Weise, wie gewisse unserer Sinnesorgane auf Aetherwellen von verschiedener Länge reagiren oder nicht reagiren, so giebt es keinen Grund, die verschiedenen Rubriken Wärme, Licht und Elektrizität aufzustellen; und es ist nicht möglich, zwischen diesen Energieformen irgend welche Grenzen zu ziehen.¹

Schon aus diesem Beispiel ist es klar, dass der, welcher die Sinne nach dem adäquaten Reizmittel eintheilen will, in einem steten Kreise sich bewegt; denn das, was das adäquate Reizmittel charakterisirt

¹ In einigen Fällen decken, wie bereits angedeutet, die Gebiete einander zum Theil: gewisse Strahlen reizen sowohl die Wärmepunkte, als die Netzhaut; dieser Umstand hat zuweilen zu der falschen Vorstellung Veranlassung gegeben, dass es z. B. in dem rothen Ende des Spektrums zwei verschiedene Arten Strahlen giebt, Wärme- und Lichtstrahlen u. s. w. — Andererseits besteht ja noch eine Lücke zwischen den längsten Wärmewellen und den kürzesten bekannten elektrischen Wellen; diese dürfte indess bald ausgefüllt werden.

und begrenzt, ist gerade die Reaction des Sinnesorganes. Das Gesicht ist das Organ, mit welchem wir das Licht (= die Lichtstrahlen) auffassen; was aber sind dann Lichtstrahlen? Das sind die Aether-vibrationen, soweit sie von unserem Gesichtsorgan empfunden werden, und keine anderen.

Zu demselben Resultat kommt man, wenn man die Frage aufstellt, was ist Schall in objectiver Bedeutung? Darauf lautet die Antwort: Vibrationen, aber nicht alle beliebigen, sondern nur die, deren Schwingungszahl zwischen etwa 28 und 30 000 in der Secunde liegt; denn nur diese kann man hören. Macht man diese Einschränkung nicht, so muss man, wenn man consequent sein will, z. B. auch die Bewegung des Secundenpendels einen Schall nennen, ja überhaupt jede beliebige periodische Bewegung. Es ist unmöglich, den Schall in objectiver Bedeutung zu definiren, ohne auf das Functionsvermögen des Ohres Rücksicht zu nehmen; das ist es, was bei Ziehung der Grenze das Entscheidende wird. Schon jetzt beginnt man in physikalischen Lehrbüchern die Lehre vom Schall als eine Unterabtheilung der Mechanik: periodische Vibrationen elastischer Körper zu behandeln. Dass die Kapiteleintheilung in der Physik übrigens noch zum grossen Theil auf rein physiologischem Grunde steht, dass man also unter besonderen Ueberschriften Wärme, Licht u. s. w. behandelt, hat seine Erklärung darin, dass unsere unmittelbaren Sinnesempfindungen, welche ursprünglich die einzigen waren, fortfahrend zu den wichtigsten Forschungsmitteln innerhalb dieses wie anderer Gebiete gehören; irgend welchen in der Natur der Erscheinungen liegenden Artunterschieden aber entspricht sie nicht, und während der künftigen Entwicklung der Wissenschaft wird ganz gewiss die Optik, die Wärmelehre u. s. w. dasselbe Schicksal theilen, welches bereits die Akustik getroffen hat.

Die Eintheilung der Sinne dagegen ist, wie deren übrige Erforschung eine physiologische¹ Angelegenheit, und man muss dabei nicht einen anatomischen, noch physikalischen oder chemischen Eintheilungsgrund, sondern einen physiologischen, und zwar die Function nehmen. Ob ein gewisses Organ ein Sinnesorgan ist oder nicht, hängt davon ab, ob es Empfindungen erzeugt oder nicht, und ob es zu dem einen oder anderen Sinne gehört, kommt auf die Beschaffenheit dieser Empfindungen an.

¹ Oder wenn man so will, eine psychologische. (Vgl. Öhrwall, Unters. über den Geschmackssinn. *Dies Archiv.* 1891. Bd. II. S. 21.) Ich halte es für unnöthig, hier darauf einzugehen, ob oder wie hier eine Grenze zwischen der Physiologie und Psychologie zu ziehen sei. Das hier in Frage stehende Gebiet ist für beide offenbar gemeinsam.

Bevor man jedoch versucht, die Empfindungen nach ihrer Beschaffenheit zu classificiren, ist es wichtig, dass man sich klar macht, dass es einfache und zusammengesetzte Empfindungen giebt. Die Empfindung „nass“ z. B. ist eine solche zusammengesetzte Empfindung, in welcher man mit einiger Aufmerksamkeit mehrere Elemente unterscheiden kann: Kälte, Druck, gewisse Muskelsensationen. Der „Geschmack“ von Pfeffer z. B. ist zusammengesetzt aus einer brennenden Tastempfindung und einer eigenthümlichen Geruchsempfindung (eine Geschmacksempfindung kommt dabei nicht vor); jeder musikalische Klang ist bekanntlich aus mehr oder weniger einfachen Tönen zusammengesetzt, welche mit genügender Uebung und Aufmerksamkeit aus dem Gesamtklang „herausgehört“ werden können u. s. w. Dagegen sind die Farben in dieser Beziehung stets einfach, und in dem weissen Tageslichte kann das Auge keineswegs die Ingredienzien unterscheiden. Es ist nun einleuchtend, dass man bei einer Classification der Empfindungen von den einfachen ausgehen muss, d. h. von solchen, welche nicht in einfachere Bestandtheile zerlegt werden können; denn die einfachen Bestandtheile einer zusammengesetzten Empfindung können, wie wir bereits aus den eben angeführten Beispielen ersehen haben, zu ganz verschiedenen Sinnen gehören. Ferner muss man beachten, dass alle Empfindungen in zwei grosse Gruppen getheilt werden können, die man gut die äusseren und die inneren Empfindungen nennen kann, welche Gruppen sich so charakterisiren lassen, dass die äusseren von uns objectivirt, d. h. als Eigenschaften von äusseren Gegenständen aufgefasst werden, die inneren dagegen nicht objectivirt, sondern als Zustände unser selbst aufgefasst werden. Diese Kategorien entsprechen E. H. Weber's Sinnesempfindungen und Gemeingefühlen,¹ am richtigsten aber scheint es sein, die erstere Bezeichnung nicht auf die äusseren Empfindungen zu beschränken, denn die inneren sind unzweifelhaft ebenso gut Empfindungen als die äusseren. Hunger, Durst, Müdigkeit, Jucken, Hitze sind ebenso gut Empfindungen als Geruch und Geschmack. Der Ausdruck „Gemeingefühle“ ist ebenso wie „Organempfindungen“, „Sensations systematiques“ u. s. w. aus triftigen Gründen sehr ungeeignet. Weber hat auch in seiner klassischen Abhandlung gezeigt, was der Objectivirung der äusseren Empfindungen zu Grunde liegt. Durch Empfindungen unserer eigenen, freiwilligen Bewegungen kommen wir mittels einer Reihe unbewusster Schlüsse schon früh dahin, dass wir die äusseren Empfin-

¹ E. H. Weber, Tastsinn und Gemeingefühl. In Wagner's *Handwörterbuch*. III. 2. 1846.

dungen, welche sich bei unseren Bewegungen in regelmässiger Weise ändern, als Eigenschaften äusserer Gegenstände auffassen, die inneren aber, welche durch unsere Bewegungen nicht geändert werden, als Zustände unseres eigenen Körpers.¹

Die einfachen Empfindungen können in vielen Hinsichten verschieden sein: nach ihrer Intensität, Dauer, Localisation (Localzeichen), ihrem Gefühlston, vor Allem aber ihrer Qualität. Die Qualität einer Empfindung lässt sich ebenso wenig definiren oder beschreiben, wie die Empfindung selbst; wir verstehen aber Alle, was damit gemeint ist, wenn die Sache durch ein Beispiel beleuchtet wird. Die Qualität ist das Eigenthümliche, wodurch eine Farbe sich von einem Tone oder Geschmack unterscheidet, oder eine Farbe von einer anderen, ein Ton von einem anderen u. s. w.

Es giebt nun, wie Helmholtz² sagt, in qualitativer Hinsicht zwei verschiedene Grade von Unterschied zwischen verschiedenen Empfindungen. Eine Farbe kann mit einer anderen Farbe verglichen werden, nicht aber mit einem Ton; von einer Farbe kann man durch eine ununterbrochene Reihe von verschiedenen Farben zu jeder beliebigen anderen Farbe kommen, desgleichen von einem Ton zum anderen; man kann aber auf diese Weise nicht von einer Farbe zu einem Ton hinüberkommen. Diejenigen Empfindungen, welche also einander mehr gleichen und sozusagen in Reihenfolge geordnet werden können, werden von Helmholtz zu Qualitätskreisen, Modalitäten, Sinnen (alles verschiedene Namen für dieselben Begriffe) vereinigt. Dieses Princip ist es, welches der Eintheilung der Sinne zu Grunde gelegt werden muss.

Helmholtz zog keine Consequenzen aus dem Satz, den er aufgestellt hat, und spricht hier und da immer noch von unseren fünf Sinnen.³ Dies erklärt sich daraus, dass er sich ausschliesslich mit dem Gesicht und Gehör beschäftigte; in Bezug auf diese kommt man zu

¹ Hier ist nicht der rechte Ort, auf die wichtigen Consequenzen dieses von Weber dargestellten und von Helmholtz weiter entwickelten Gesetzes näher einzugehen. Nur so viel mag im Vorbeigehen gesagt sein, dass, wenn Weber's Ansicht, wie es scheint, richtig ist, und es also der Kraftsinn (Weber), oder, wenn man so will, die Bewegungsempfindungen sind, welche uns in den Stand setzen, zwischen äusseren und inneren Empfindungen zu entscheiden, d. h. zwischen der äusseren Welt und uns selbst, es auch dieser Sinn ist, welcher dem zu Grunde liegt, dass wir uns selbst als Individuen auffassen im Unterschied von der äusseren Welt; und es lässt sich wohl vermuthen, dass eine solche Auffassung sich ebenso weit hinab in die Thierreihe erstreckt, als dort willkürliches Bewegungsvermögen existirt.

² Helmholtz, *Die Thatfachen in der Wahrnehmung*. 1879. S. 8.

³ Helmholtz, *Handb. d. physiol. Optik*. S. 232 (193).

demselben Resultat, gleichviel ob man die Modalität der Empfindungen, oder das Organ selbst¹ als Eintheilungsgrund wählt. Ganz anders aber wird das Resultat, wenn man die Regel auf die übrigen Sinne anzuwenden sucht. So habe ich versucht, in einer Abhandlung über den Geschmackssinn,² in welcher ich die oben vorgelegten Sätze dargestellt habe, nachzuweisen, dass dieser Sinn eigentlich in vier Modalitäten oder Sinne getheilt werden muss, weil es nicht verschiedene Arten von Süß, Sauer, Salzig und Bitter giebt, und also noch weniger einen Uebergang von der einen Geschmacksart zur anderen durch eine continuirliche Reihe qualitativ verschiedener Empfindungen. Innerhalb dieser vier Modalitäten giebt es also keine Qualitätsdifferenzen wie innerhalb der höheren Sinne. An derselben Stelle habe ich gesagt, dass es sich mit den Tastempfindungen ganz ebenso verhält; dort unterscheiden wir u. A. die einfachen Empfindungen Warm, Kalt, Druck und Schmerz, zwischen welchen es ebenso wenig qualitative Uebergänge giebt (wenn man, wie es sich gehört, nur einfache Empfindungen mit in Rechnung zieht). Es ist vielleicht nicht ganz unnöthig zu betonen, dass es der Mangel an qualitativen Uebergängen ist, welcher entscheidend ist, nicht Gradunterschiede, sei es bei dem Reizmittel oder in der Intensität der Empfindungen. Wenn man z. B. eine eiserne Stange an dem einen Ende erwärmt, so dass sie sich dort warm, an dem anderen aber kalt anfühlt, so kann man dadurch, dass man sie an verschiedenen Punkten mit der Hand berührt, einen continuirlichen Uebergang von Warm bis Kalt durch eine Reihe Sensationen erhalten, welche sich nur dem Grade nach von einander unterscheiden, und deshalb müssten, sollte man meinen, die Wärme- und Kälteempfindungen zu einem Sinn zu zählen sein. Ein solcher Schluss wäre aber vollständig unberechtigt. Von Warm kommt man auf diese Weise durch eine Reihe Empfindungen derselben Qualität, aber immer geringerer Intensität allmählich zu einem Indifferenzpunkte, dem physiologischen Nullpunkte, wo man gar keine Empfindung hat; und von diesem Nullpunkte aus könnte man natürlich durch geeignete Anordnungen ebenso gut zu jedem beliebigen anderen Sinn übergehen. Ihrer Qualität nach ist die Empfindung Warm der Empfindung Kalt vollkommen unähnlich; zwischen diesen giebt es weder eine Aehnlichkeit, noch einen Uebergang, sie sind deshalb als Modalitäten zu be-

¹ Jedoch unter der Voraussetzung, dass man von den Functionen der Bogen-
gänge und Säcke absieht, über welche man, als Helmholtz sich mit diesen
Fragen beschäftigte, noch ziemlich im Ungewissen war.

² Öhrwall, Untersuchungen über den Geschmackssinn. *Dies Archiv.*
1891. Bd. II.

trachten. Und aus demselben Grunde müssen auch die Druck- und Schmerzempfindungen als selbständige, von den anderen getrennte Modalitäten aufgestellt werden.

Nach Entdeckung der Kälte-, Wärme- und Druckpunkte u. s. w. hat man allmählich begonnen, unvermerkt vom Drucksinn u. s. w. als einem besonderen Sinn zu sprechen, ohne sich auf eine Discussion einzulassen, in wie weit dies berechtigt ist. Noch kennt man nicht die histologische Struktur der Kälte- und Wärmepunkte — ich meine die der entsprechenden peripherischen Endorgane; aber wenn man auch deren Verschiedenheit bis ins kleinste Detail kennte, welcher Histolog wollte wohl in Folge dessen endgültig entscheiden, ob sie einem Sinne oder mehreren angehören? Meiner Ansicht nach braucht man indess nicht die Nachweisung besonderer Endorgane für heterogene Empfindungen abzuwarten, um dieselben der aufgestellten Regel gemäss zu verschiedenen Sinnen hinzuführen. Ich werde später diese Ansicht mehr zu begründen versuchen.

Gegen die in dem Helmholtz'schen Satze gemachte Behauptung, dass es zwei verschiedene Grade von qualitativen Verschiedenheiten giebt, und gegen die Möglichkeit, den höheren Grad, den Modalitätsunterschied, einer Eintheilung der Sinne zu Grunde zu legen, ist meines Wissens kein Einwand erhoben worden, und es scheint überhaupt auch keiner gemacht werden zu können. Gegen die Consequenzen aber, welche ich in Bezug auf die Geschmacksarten aus denselben gezogen habe, hat Kiesow¹ verschiedene Einwände erhoben. Die vier Geschmacksarten, behauptet er, gleichen sich unter einander mehr als Empfindungen, welche anderen Sinneskreisen angehören. „Den einzelnen Empfindungsgebieten entsprechen scharf abgegrenzte adäquate Reizvorgänge, die beim Auge stets Licht, beim Gehör Lufterschütterungen, beim Geruch wahrscheinlich immer Gase und beim Geschmack ausschliesslich Flüssigkeiten sind. Wenn Öhrwall diese Einwände zusammen mit den anderen eines einheitlichen Organes für jeden Empfindungskreis und des histologisch gleichartigen Baues der Elementarorgane innerhalb eines jeden nicht als Gründe gegen seine Forderung [die Geschmacksarten als besondere Sinne aufzustellen] anerkennen will, so wird seine Ansicht“, sagt Kiesow, „nur verständlich durch die von ihm vertretene Lehre von den specifischen Energien, die er in dieser Beziehung consequent zu Ende gedacht haben will. Dieselbe scheint mir aber bei ihm ein Apriori im Sinne der Kant'schen

¹ Kiesow, Beiträge zur physiol. Psychologie des Geschmackssinnes. *Philos. Studien*. Herausgeg. von W. Wundt. 1894. Bd. X. S. 535.

Anschauungsformen zu sein.“ Nach Kiesow ist sie eine auf dem Wege der Erfahrung gefundene physiologische Thatsache, die aus ihrer Entwicklungsgeschichte zu erklären sei. „Als ein Apriori gefasst aber scheint mir die empirisch festgestellte Thatsache zu einem metaphysischen Begriff verflüchtigt zu werden.“ — „Dass ich beispielsweise von Salz nicht durch Süss und Sauer zu Bitter gelangen kann, wie vom Roth zum Violett, kann möglicher Weise in den objectiven Reizmitteln begründet sein, deren Natur wir nicht kennen.“ „Wenn wirklich einmal anatomisch spezifische Endgebilde nachgewiesen werden, so werden sich dann der sprachlichen Entwicklung gemäss die Begriffe Sinnes- und Empfindungsorgane wie von selbst ergeben.“

Diese Einwürfe habe ich in der angeführten Abhandlung bereits im Voraus widerlegt. Was zunächst die Behauptung anbelangt, dass die Geschmacksempfindungen einander mehr gleichen als den Empfindungen, welche einem anderen Sinne angehören, so habe ich hervorgehoben, dass auch dann, wenn dies der Fall wäre, dies kein Grund sei, sie zu einem Sinne zusammen zu führen, so lange man die einfache aufgestellte Regel befolgen wolle. „Ob die Modalitäten selbst in Folge ihrer grösseren oder geringeren Aehnlichkeit mit einander in Gruppen geordnet werden können, sei bis auf Weiteres dahin gestellt. Gewiss aber ist es, dass man in vielen Fällen geneigt ist, Empfindungen als mehr oder weniger gleichartig zu betrachten und mit einander zusammen zu stehen in Folge ganz anderer Gründe, als dass sie einander wirklich ähneln oder direct einander gleichgestellt werden können. Dies ist besonders mit Empfindungen der Fall, welche oft gleichzeitig oder unter gleichen äusseren Verhältnissen auftreten und deshalb im Bewusstsein mehr oder weniger intim mit einander verbunden worden sind. Solche Empfindungen werden oft als eine einzige aufgefasst (z. B. die Empfindung Nass, der Geruch von Senf, Essigsäure, der Geschmack von Gerbsäure u. s. w.); daraus aber folgt nicht, dass die einfachen Bestandtheile in diesen Sensationen wirklich einander gleich sind oder zu einem Sinn gehören. Und es ist möglich, dass die Aehnlichkeit, welche Jemand zufällig zwischen den verschiedenen Geschmackssensationen finden kann, wirklich keinen anderen Grund haben als diesen.“¹

Diesen Satz hat Kiesow nicht zu widerlegen vermocht, und ich glaube fortfahrend, dass er wohl begründet ist. Wenn man die Geschmacksmodalitäten als mehr einander wie anderen Modalitäten ähnlich betrachtet, so kommt dies meiner Ansicht nach hauptsächlich von

¹ Öhrwall, *Studien u. Untersuch. über den Geschmackssinn.* S. 22.

Associationen her, zum Theil vielleicht auch von der „Macht der Sprache über den Gedanken“.

Dass die verschiedenen Sinne keineswegs „scharf begrenzten adäquaten Reizvorgängen“ entsprechen, habe ich gleichfalls in der genannten Abhandlung (S. 25) gezeigt und oben ausführlicher dargelegt. Ich will mich daher an dieser Stelle auf einige Bemerkungen beschränken. Wenn Licht in objectiver Bedeutung ein gut begrenzter, adäquater Reizvorgang ist, wie kann dann ein Lichtstrahl, wie die Physik uns lehrt, mit einem Wärmestrahle identisch sein? Man kommt von diesem Einwande nicht hinweg, dadurch, dass man ihn einfach übergeht. Kiesow bewegt sich, wie ich vorher angedeutet, offenbar in einem Kreise.

Ferner: wenn es für den Geschmackssinn charakteristisch ist, dass das adäquate Reizmittel eine Flüssigkeit ist, warum zählt Kiesow selbst ebenso wie alle anderen Physiologen die zusammenziehende Empfindung z. B., welche von einer Gerbsäurelösung auf der Zunge ausgelöst wird, oder die Schärfeempfindung, die durch Pfefferextract erzeugt wird, zum Gefühl? Recht bezeichnend ist es, dass Kiesow hinsichtlich des „Gefühls“ nicht einmal einen Versuch macht, „das adäquate Reizmittel“ zu charakterisiren.

Noch einen Einwurf habe ich in meiner Abhandlung über den Geschmackssinn selbst aufgestellt und von vornherein zu widerlegen versucht: „Endlich hätte man vielleicht gegen die Auffassung von den Geschmackskategorien, welche ich im Vorhergehenden geltend zu machen versucht habe, die Existenz von Contrast und Compensation zwischen verschiedenen Geschmacksempfindungen anführen können“. Ich unterwerfe daher die Beweise für Contrast und Compensation einer Prüfung und komme in Folge angestellter Experimente zu dem Ergebniss, dass weder Contrast noch Compensation zwischen den verschiedenen Geschmackskategorien stattfindet.

Durch seinen Versuch, nachzuweisen, dass Contrast und Compensationsphänomene zwischen den verschiedenen Geschmacksarten trotzdem wirklich vorhanden sind, hat Kiesow gemeint, einen leichten Sieg zu gewinnen und mich mit meinen eigenen Waffen zu schlagen; giebt es solche Phänomene, so dürfte man, sagt er, auch nach meiner Meinung die Geschmacksarten nicht als vollständige Modalitäten rechnen können.

Dies ist nun indess durchaus nicht meine Ansicht; ich gebe zu, dass ich mich weniger knapp hätte ausdrücken können, es war aber nicht meine Absicht, eine Einleitung zur Sinnesphysiologie zu schreiben, sondern eine specielle Untersuchung des Geschmackssinnes. Der er-

währte Einwurf war kein solcher, der für mich selbst principiell entscheidend war, sondern nur einer, den ich einem etwaigen Gegner in den Mund legte, derselbe bildet mehr einen Uebergang zu der folgenden Untersuchung, betreffend Contrast und Compensation. Wenn diese Untersuchung kein negatives Resultat ergeben hätte, würde ich schon Veranlassung genommen haben, bereits damals die Sache näher zu erörtern. Es ist nämlich Jedermann klar, der sich tiefer in die Frage hineindenkt, dass der Umstand, ob Contrast oder Compensation zwischen verschiedenen Arten von Empfindungen stattfinden kann oder nicht, durchaus keinen Einfluss darauf hat, ob sie als Qualitäten, oder Modalitäten zu betrachten sind. Die Anwendung des Helmholtz'schen Satzes ist ja ganz unabhängig hiervon. Dass ich aber damals diese Ansicht hatte, geht aus dem Umstande hervor, dass ich gemäss dieser Regel die Kälte- und Wärmesinne als zwei besondere Sinne anführte (l. c. S. 20), obgleich ich ebenso gut wie jetzt wusste, dass Contrastphänomene zwischen denjenigen Empfindungen bestehen, welche diesen Sinnen angehören. Der Helmholtz'sche Satz legt dem Umstande kein Hinderniss in den Weg, dass Contrast und Compensation ebenso gut zwischen Modalitäten, als Qualitäten stattfinden können, und ebenso wenig streitet ein solcher Umstand gegen das Gesetz für die specifischen Sinnesenergien. Es sei noch hinzugefügt, dass Empfindungen, welche verschiedenen Modalitäten angehören, auch mit einander zu zusammengesetzten, mehr oder weniger schwer zu analysirenden Empfindungen zusammenschmelzen können; Beispiele hierfür von Geruch, Geschmack und Gefühl sind von Alters her bekannt. Ob andererseits Contrast oder Compensation oder beide zwischen Empfindungen verschiedener Qualität oder Modalität wirklich stattfinden oder nicht, muss in jedem besonderen Falle durch darauf gerichtete specielle Untersuchungen entschieden werden. In Bezug auf das Verhalten der Geschmacksarten in diesem Falle bin ich noch jetzt, trotz Kiesow's Untersuchungen, der Ansicht, dass keines von beiden stattfindet.¹ In jedem beliebigen Falle aber ist, wie eben betont,

¹ Kiesow's Contrastversuche anbelangend, muss erwähnt werden, dass es sich in diesen nicht um deutliche Empfindungen und unzweifelhafte Reactionen handelt wie dann, wenn man Contrastversuche mit Warm und Kalt oder zwischen verschiedenen Farben anstellt, sondern um schwache und nothwendig mehr oder weniger unsichere Empfindungen, welche nahe an der Schwelle liegen und zu deren Beurtheilung viel Uebung und stete Controlversuche von Nöthen sind, die indess, wie es scheint, unterlassen worden sind. Die Versuche wurden so gemacht, dass z. B. eine schwache Salzlösung auf der einen Seite der Zungenspitze und bald darauf destillirtes Wasser auf der anderen angebracht wurde, welches dann „durch den Contrast“ zu schmecken war. (Meh-

dieser Umstand von keiner Bedeutung für die Frage, betreffend die Stellung der Geschmacksategorien als Modalitäten oder Qualitäten.

Es lässt sich in der That für die Vereinigung dieser Modalitäten nichts Anderes anführen, als die alte gemeinsame Benennung. Es verhält sich hier ebenso wie mit dem Gefühlssinn, unter welcher gemeinsamen Rubrik man allzu lange Sensationen heterogenster Beschaffenheit aus keinem anderen Grunde als dem alten Schlendrian zusammengeführt hat.

Kiesow behauptet ferner, dass meine Unterschätzung des Organes und des adäquaten Reizmittels als Eintheilungsgrund für die Sinne nur daraus zu erklären sei, dass ich consequent die von mir a priori gefasste Lehre von den specifischen Sinnesenergien anwenden wolle. Erstens aber habe ich niemals, ein so eifriger Anhänger der Lehre von den specifischen Sinnesenergien ich auch bin, dieselbe (ebenso wenig wie

rere der Versuchspersonen fühlten schon im Voraus süßen, sauren oder bitteren Geschmack am destillirten Wasser!) Eine Regelmässigkeit scheint Kiesow indess nicht gefunden zu haben; bei drei von den Versuchspersonen trat der Contrast überhaupt nicht auf; bei einigen entstand als Contrast gegen salzig: süß, bei anderen bitter, ja, bei einer Person einmal süß und bitter, das andere Mal salzig und bitter. Schwache Säure macht destillirtes Wasser (welches bitter schmeckt) das eine Mal sauer, das andere Mal bitter, das dritte Mal süß u. s. w. Bei Reizung mit stark schmeckenden Lösungen wurde niemals ein Contrastphänomen erhalten. Diejenigen Versuche, in welchen eine schwache Salzlösung oder Säurelösung durch Contrast über die Schwelle gehoben werden sollte, scheinen im ersten Augenblicke mehr beweisend. Es ist aber klar, dass, wenn etwas die Schwelle für gewisse Empfindungen senkt, es nicht gesagt ist, dass dies durch Contrast geschieht. Ein negatives Resultat (wie ich es erhielt) zeigt a fortiori, dass kein Contrast stattfindet, während ein positives nicht ohne Weiteres beweist, dass Contrast in gewöhnlichem Sinne obwaltet, denn die Senkung der Schwelle kann von anderen Umständen herkommen. So z. B. ist, wie ich gezeigt (l. c. S. 23, Note), wiederholte Application einer sehr schwachen Lösung auch mit angemessenen Pausen an und für sich im Stande, die Schwelle zu senken. Mit der Methode, welche Kiesow benutzte, würde man wahrscheinlich ebenso gut Contrastphänomene zwischen zwei ganz beliebigen Empfindungsarten zeigen können. Es ist möglich, dass so etwas geschieht, es ist dann aber nicht Contrast in dem Sinne, wie dieser Begriff in Bezug auf den Farbensinn oder die Wärme und Kälte angewendet wird. Dass der Contrast in diesem Sinne nicht zwischen den Geschmacksarten stattfindet, ist meiner Ansicht nach ganz augenfällig; denn derselbe würde dann leicht zu constatiren sein, und ebenso gut wie man weiss, dass Wärme durch Contrast Kälte, oder Roth Blau-grün hervorruft, könnte man angeben, welche Geschmacksart z. B. Süß durch Contrast hervorruft, was indess nicht aus Kiesow's Untersuchung hervorgegangen ist.

Was die Compensationsversuche anbelangt, so ist zu bemerken, dass es Kiesow trotz aller Bemühungen nicht gelungen ist, eine Compensation

irgend eine andere) als a priori selbstverständlich aufgefasst, noch dargestellt. Meine Untersuchung über den Geschmackssinn ging ja gerade darauf aus, deren Richtigkeit in einem speciellen Falle experimentell zu prüfen. Ich aber betrachte die Lehre als eine der am besten bewiesenen und die entschieden wichtigste in der ganzen Sinnesphysiologie. Helmholtz vergleicht ihre Bedeutung für die Sinnesphysiologie mit der des Gesetzes der Schwere für die Astronomie.¹ Auch der Unterschied zwischen Modalitäten und Qualitäten ist ein Erfahrungssatz, obgleich weit sinnfälliger und unmittelbarer zugänglich als die Lehre von den specifischen Energien. Sie wird von Niemand geleugnet, ist unabhängig von allen Theorien, und es hindert einen meines Erachtens nichts, sofern man es für gut findet, sie der Einteilung der Sinne zu Grunde zu legen, sogar wenn man die Theorie von den specifischen Sinnesenergien verwirft. Nimmt

zwischen den anderen Geschmacksarten zu zeigen, nur zwischen schwachen Empfindungen von Süss und Salzig; und dass dabei diese schwachen Empfindungen einander nicht aufhoben, sondern Veranlassung zu einer neuen eigenthümlichen, laugeähnlichen Empfindung wurden, die er nicht analysiren konnte. Dass eine zusammengesetzte Geschmacksempfindung schwer zu analysiren sein kann, ist nichts Ueberraschendes; besonders dürfte dies von Salzig und Süss gelten, welche am frühesten associirt sind (von der Muttermilch an); auch ist es nicht verwunderlich, dass der fragliche Geschmack dem alkalischen gleicht, in welchem sowohl Süss als Salzig als gewisse Gefühlsempfindungen enthalten sind. Eine Compensation aber wird durch diese Versuche nicht bewiesen. Da Kiesow in einer meiner Aeusserungen, dass man in einer Mischung von z. B. süssen und bitteren Substanzen sowohl das Süsse als das Bittere, oder nur das eine erkennt, ein Eingeständniss sehen will, dass die beiden Eindrücke einander theilweise wenigstens compensiren, so gestehe ich, dass ich seinen Gedankengang nicht verstehe. Er hat wahrscheinlich die Voraussetzung gemacht, dass dabei die Concentrirung so gewählt war, dass jede der Substanzen allein für sich über der Schwelle lag, was nicht der Fall war. Aber auch wenn beide über der Schwelle liegen, wird der eine Geschmack natürlicher Weise ganz übertäubt, wenn er sehr nahe der Schwelle liegt, falls der andere hinreichend stark ist. Ja, sogar wenn beide über und ganz nahe der Schwelle liegen, und die Aufmerksamkeit auf den einen Geschmack gelenkt wird, sinkt der andere leicht unter die Schwelle. Es ist ja eine allgemeine Regel in der Sinnesphysiologie, dass Schwellenbestimmungen ungetheilte Aufmerksamkeit erfordern. Man dürfte die Schwelle für fast jede beliebige Empfindung erhöhen können, indem man eine andere beliebig gewählte Empfindung einmischet; dies aber Compensation zu nennen, hiesse diesen Begriff ganz verschwimmen machen. Dass Kiesow bei Mischung von verschiedenen schmeckenden Substanzen keine Summirung der Reizintensitäten fand, war nur zu erwarten, kann aber unmöglich als Beweis für das Vorhandensein der Compensation angeführt werden.

¹ Helmholtz, Das Denken in der Medicin. *Vortr. u. Reden.* Bd. II. S. 191.

man dagegen diese Theorie an, so muss man wohl dieselbe consequent anwenden, gleichviel, ob man, wie Verf. dieses in Uebereinstimmung mit Kiesow, dieselbe für empirisch begründet oder (in Uebereinstimmung mit ich weiss nicht wem) für a priori selbstverständlich hält.

In welchem Verhältniss sie zur Lehre von den Modalitäten als Eintheilungsgrund steht, dürfte aus dem Folgenden hervorgehen.

Die Lehre von den specifischen Sinnesenergien nimmt bekanntlich für die verschiedenen Arten Sinnesempfindungen besondere Endorgane an, und zwar sowohl peripherische als centrale, von denen die peripherischen ausschliesslich oder jedenfalls vorzugsweise von gewissen Reizmitteln gereizt werden können, nicht aber von anderen, die centralen dagegen sind so beschaffen, dass, sobald sie auf die eine oder andere Weise gereizt werden, die für das fragliche Centralorgan eigenthümliche Empfindung hervorgerufen wird. Die Nerven spielen dabei die Rolle indifferenter Leiter. Hinsichtlich der centrifugalen Nerven ist es ja klar, dass bei Reizung eines Nerven die Art des Effectes nicht auf der Beschaffenheit des Nerven oder der Reize, sondern auf der des Endorganes beruht, so dass man, falls es ein Muskel ist, eine Contraction bekommt, wenn es dagegen eine Drüse ist, eine Secretion u. s. w. In derselben Weise nimmt man nach der Lehre von den specifischen Sinnesenergien an, dass hinsichtlich der Sinnesnerven die Art der Empfindung von dem Bau der centralen Ganglienzelle, und nicht von der Beschaffenheit des Nerven oder des Reizmittels abhängt. Dies schließt indess nicht aus, dass derselben Lehre gemäss das periphere Endorgan eine äusserst wichtige Rolle spielt; es hat in der That eine doppelte Aufgabe, nämlich den Nerven und durch diesen das Centralorgan für die Einwirkung gewisser Reizmittel zugänglich zu machen, sie aber vor anderen zu schützen.¹ Es ist ein gewöhnlicher Fehler, dass man bei einem Sinnesorgan noch wie früher fast ausschliesslich an das periphere Endorgan denkt; ein ebenso wichtiger Bestandtheil ist ja dessen centraler Theil. Die Struktur des centralen Endorganes ist es, welche für die Beschaffenheit der

¹ Öhrwall, l. c. S. 3. Dass diese Function des peripheren Endorganes von den Physiologen gewöhnlich nicht hinreichend deutlich hervorgehoben wird (wahrscheinlich weil man es für selbstverständlich hält), hat zu merkwürdigen Missverständnissen Veranlassung gegeben, indem man es als eine Schwierigkeit für die Theorie betrachtet hat, dass nicht jedes indifferente Reizmittel specifisch wirkt, d. h. mit anderen Worten, dass factisch nicht alle peripheren Endorgane auf alle möglichen Reizmittel reagiren. Viele von Dessoir's und Weinmann's Angriffen auf die Lehre von den specifischen Sinnesorganen gründen sich auf diese absurde Auffassung von der Bedeutung der Lehre.

Empfindung entscheidend ist; von dem Bau des peripheren Endorganes hängt es dagegen ab, ob unter normalen Verhältnissen bei Einwirkung eines gewissen Reizmittels dem Centralorgan überhaupt eine Reizung zugeführt wird oder nicht. Die Struktur des centralen Organes bestimmt also die Modalität (Qualität), die Struktur des peripheren Organes dagegen entscheidet, was ein adäquates Reizmittel ausmacht oder nicht. Qualitativ verschiedene Empfindungen setzen also nach dieser Lehre besondere, sowohl centrale, als periphere Endorgane voraus. Es ist eine der wichtigsten Aufgaben der Sinnesphysiologie, diese Organe nachzuweisen. Wenn auch zugegeben werden muss, dass in dieser Beziehung betreffs der Centralorgane so gut wie Alles,¹ und betreffs der peripheren das Meiste noch zu thun ist, so liegt darin doch kein Grund, die in Frage stehende Lehre zu verwerfen. Denn theils giebt es keinen einzigen Beweis dafür, dass qualitativ verschiedene Empfindungen durch denselben identischen Nervenapparat ausgelöst werden können², theils hat im Gegentheil in mehreren Fällen, wo es scheinbar

¹ Etwas Anderes ist nicht zu verlangen, wenn man bedenkt, dass die Lehre von der Localisation der inneren Sinnesflächen in der Hirnrinde eine verhältnissmässig neue wissenschaftliche Eroberung ist. Indess beginnt man bereits in Uebereinstimmung mit der Lehre von den specifischen Sinnesenergien, histologische Differenzen in der Hirnrinde zu finden, welche verschiedenen Sinnesgebieten entsprechen. Vgl. Flechsig, *Gehirn und Seele*. 2. Aufl. 1896. S. 73. 75; *Die Localisation der geistigen Vorgänge*. 1896. S. 82. — Cajal, *Studien über die Hirnrinde des Menschen*. Uebers. von Bresler. 1. Die Hirnrinde. 1900.

² Die Einwürfe, welche man bisher gegen die Lehre von den specifischen Sinnesenergien gemacht, erscheinen mir ganz kraftlos. Wundt's Bemerkung, dass sie gegen die Entwicklungslehre streitet: „Denn sollte sich etwa die eine Form der Function aus der anderen herausgebildet haben, so wäre sie eben keine specifische mehr“ (Grundz. der physiol. Psych. 3. Aufl. I. S. 338) ist ein typischer Zirkelbeweis, nichts Anderes. Ebenso gut könnte man sagen: die Arten sind unveränderlich, sonst wären sie keine Arten.

Man hat ferner das Fehlen von Gesichts- und Gehörshallucinationen bei Blind- und Taubgeborenen angeführt. Das Factum selbst aber kann zunächst in Frage gestellt werden. Wie weiss man, dass ein Blindgeborener niemals Gesichtshallucinationen, d. h. wohl richtiger Licht- und Farbenhallucinationen haben kann? Da er seine Lichtempfindungen zu keiner äusseren constanten Ursache hinführen kann wie wir, ist es ja für ihn unmöglich, dieselben so zu beschreiben, dass wir sie erkennen. Hierzu kommt, dass sie darum, weil sie nicht durch freiwillige Bewegungen geändert werden, von dem Blindgeborenen nicht objectivirt, sondern gewiss als Zustand seines Körpers — als innere Empfindung aufgefasst werden (vgl. S. 251). Es ist übrigens sehr möglich, dass das Gesichtscentrum zu seiner Entwicklung den normalen Reiz von der Retina her braucht, welcher von den Lichtstrahlen bewirkt wird, woraus indess, wie Hering mit Recht sagt, nicht folgt, dass Lichtstrahlen z. B. die Gehörsneuronen sehen machen, ebenso wenig wie sie Pilze zum Grünen bringen können (*Zur*

der Fall zu sein schien, eine genauere Untersuchung an die Hand gegeben, dass die verschiedenen Empfindungen verschiedenen Organen entsprochen haben. So z. B. hinsichtlich der Kälte-, Wärme-, Druck- und Schmerzpunkte, wie hinsichtlich der verschiedenen Papillae fungiformes auf der Zunge.¹ Es ist wohl zu hoffen, dass wir auf diesem Wege immer weiter kommen, so dass nicht nur die specifischen sowohl peripheren, als centralen Organe für die verschiedenen Empfindungen nachgewiesen werden, sondern auch deren Strukturdifferenzen auf irgend eine Weise in Zusammenhang gebracht werden können, für die peripheren Organe mit der Beschaffenheit des objectiven Reizmittels, für die centralen mit der der Empfindung; und kommen wir einmal so weit, so ist es auch nicht undenkbar, dass wir die Verschiedenheiten in der Struktur des Centralorganes mit dem Unterschiede zwischen Qualitäten und Modalitäten in Verbindung setzen können, so dass dieser Unterschied aus der Struktur erklärt werden kann. In einem solchen Stadium wäre es offenbar gleichgültig, ob man die Modalitäten, oder die Beschaffenheit des centralen oder des peripheren Organes der Eintheilung in die Sinne zu Grunde legte; das Resultat

Theorie der Nervenenthätigkeit. 1899. S. 26). Die Neuronenlehre bringt, so viel ich sehen kann, keine Schwierigkeiten für die Lehre von den specifischen Sinnesenergien, wohl aber eröffnet sie neue Möglichkeiten. — Experimentelle Beweise gegen dieselbe fehlen vollständig, und von allen den Gründen, welche man gegen die Annahme einer functionellen Indifferenz der Nervenfasern angeführt hat (Engelmann, Pflüger's *Archiv.* Bd. LXV. S. 547; Grützner, ebenda. Bd. LVIII. S. 69), ist kein einziger stichhaltig; der Grund für die verschiedene Function kann bei allen Fällen ebenso gut im Endorgane gesucht werden. Um dies durch ein einziges Beispiel zu beleuchten: Ob Reizung eines Gefässnerven mit Inductionsschlägen von einer gewissen Frequenz und Stärke Gefässcontraction, mit Schlägen von einer anderen Frequenz und Stärke aber Gefässdilatation erzeugt, wer will das wohl durch eine Verschiedenheit bei den Nervenfasern erklären?

In der That kann man wohl sagen, dass die Lehre von den specifischen Sinnesenergien gewissermassen auch von ihren Gegnern angenommen wird. Auch Wundt hält dafür, dass, sobald das Gesichtscentrum gereizt wird, gleichviel in welcher Weise, eine Lichtempfindung entsteht. Das Gesichtscentrum hat also wirklich eine „specifische Energie“; diese aber ist nach Wundt durch Einübung und Anpassung entstanden, dadurch, dass das periphere Endorgan fast ausschliesslich von Lichtstrahlen gereizt wird. Wundt, l. c. S. 336. Wundt nimmt also eine specifische Energie an, wenn sie auch nach seiner Ansicht nicht angeboren, sondern erworben ist.

¹ Öhrwall, l. c. S. 40. Diese functionellen Verschiedenheiten zwischen verschiedenen Pap. fungiformes sind dann von Goldscheider, *Centralbl. für Physiol.* 1891. Bd. IV. S. 10, und Kiesow, *Philos. Stud.* 1896. Bd. XII. S. 260; 1898. Bd. XIV. S. 612 constatirt worden.

würde ganz dasselbe werden.¹ Von einem solchen Standpunkte sind wir indess noch weit entfernt, und wenn es sonst bei aller Forschung eine gute Regel ist, vom Bekannten zum Unbekannten fortzuschreiten, so scheint es am richtigsten zu sein, dass man bei einer Eintheilung der Sinne von der Beschaffenheit der Empfindungen ausgeht, von welchem wir die reichste und unmittelbarste Erfahrung haben, und nicht von der Struktur der Organe, die uns jetzt noch zum grössten Theil unbekannt sind.

Noch unbekannter ist sehr natürlich die phylogenetische Entstehung und Entwicklung der verschiedenen Sinnesorgane. Indess ist wohl anzunehmen, dass diese Organe mit ihren Functionen ebenso wie andere aus einfacheren Formen durch Variation, Vererbung und natürliche Züchtung zu Stande gekommen, und dass auf diese Weise aus einigen wenigen immer mehr Modalitäten entstanden sind, und innerhalb einiger Modalitäten Qualitätsdifferenzen, welche vielleicht von Anfang an nicht vorhanden waren, dies alles im Zusammenhang mit und in Folge einer fortlaufenden Differenzirung und Entwicklung der centralen wie der peripheren Sinnesapparate. Man kann sich dabei leicht denken, dass der Kampf ums Dasein die Entwicklung besonderer peripherer Endorgane begünstigt hat, die auf Einflüsse reagiren, deren Erkennung von grosser Bedeutung in diesem Kampf für das Individuum oder das Geschlecht ist, und dass die entsprechenden Centralorgane Empfindungen erzeugen, welche durch ihren ausgeprägten Charakter von anderen leicht zu scheiden sind. Es ist lehrreich, dass die Modalitäten, welche solchen peripherischen Einflüssen entsprechen, die für die Erhaltung des Individuums und Geschlechtes von der grössten unmittelbaren Bedeutung sind, nicht bloss leicht zu erkennen sind, sondern ausserdem einen ausgeprägten Gefühlston haben. Hinsichtlich der Geschmacksarten ist es gewiss kein Zufall, dass der bittere Geschmack unangenehm, der süsse aber angenehm ist; denn fast alle Pflanzengifte mit äusserst wenigen Ausnahmen schmecken bitter (einige „schmecken“ scharf), während andererseits die verschiedenen Zuckerarten, wie die Stärke (welche vom Speichel in Zucker umgesetzt wird), wichtige Nahrungsstoffe sind. Was Salz und Sauer betrifft, so ist der Gefühlston dieser Empfindungen mehr von deren Stärke und also von der Concentrirung des schmeckenden Stoffes abhängig, unangenehm, wenn diese einen schädlichen Grad erreicht. Auch hinsichtlich des Geruchs- und Gefühlssinnes können ähnliche Beobachtungen gemacht

¹ Das „adäquate Reizmittel“ könnte man dagegen auch dann nicht ohne Selbstbetrug zu Grunde legen, wie aus dem Vorhergehenden zu ersehen sein dürfte.

werden. Die Empfindungen der höheren Sinne haben keinen derartigen ausgesprochenen Gefühlston; es ist aber auch z. B. die Wellenlänge eines Lichtstrahles nicht von solcher unmittelbaren Bedeutung für das Leben eines Individuums, wie die Beschaffenheit eines riechenden oder schmeckenden Stoffes, den es zu verzehren im Begriff ist.

Andererseits ist es offenbar von Wichtigkeit, dass normale und permanente physiologische Prozesse im Allgemeinen die Sinnesorgane nicht beeinflussen, denn auf diese Weise erzeugte Empfindungen würden, ohne Nutzen zu bringen, nur ermüden oder distrahiren. Es ist einleuchtend, dass es von keinem Nutzen wäre, wenn wir z. B. stets den Herzschlag oder die Bewegung der Därme fühlten, dass es nur schädlich wäre, wenn die Luft Geruchs- oder das Wasser Geschmacksempfindungen veranlasste. Dagegen ist z. B. für viele Thiere die Bedeutung der Fähigkeit, mittels des Geruches Feinde wittern und die Beute oder den Freund aufsuchen zu können, augenfällig; und dann kann man sich auch denken, dass die Entwicklung besonderer Organe für diesen Zweck vom Kampfe ums Dasein begünstigt worden ist, Organe, die besonders von gewissen flüchtigen Stoffen beeinflusst werden, welche z. B. von den Fusssohlen einiger Thiere abgesondert werden und, wie Zwaardemaker hervorhebt,¹ in Folge der bedeutenden Grösse ihrer Moleküle und ihrer dadurch bedingten geringen Diffusionsfähigkeit die Stellen, wo sie gebildet oder wo sie abgegeben worden sind („Spuren“), nur langsam verlassen. Für den Menschen sind die Geruchsempfindungen nicht mehr von so grosser Bedeutung im Kampfe ums Dasein, weshalb der Geruchssinn durch Wegfall der Naturzüchtung (Panmixie)² zu einem blossen Rudimente von dem, was er in früheren Stadien gewesen, hat herabsinken können.

Es ist klar, dass nicht nur die Grenzen dessen, was man die qualitative Functionsbreite der Sinne nennen könnte, sondern auch die Lage ihrer oberen und unteren Intensitätsgrenzen in vielen Fällen durch diese und ähnliche Betrachtungen erklärt werden kann. Im Allgemeinen dürfte man sagen können, dass die obere Intensitätsgrenze nahe dem Gebiete liegt, wo das Reizmittel eine solche Stärke erlangt hat, dass es verderblich auf das Organ wirken würde; wobei ausserdem die Schmerznerven gewöhnlich durch ihre schon bei einer schwächeren Reizung eintretende Reaction eine warnende und dadurch schützende Rolle spielen. Was die untere Grenze betrifft, so kann man begreifen, dass eine sehr weit getriebene Feinheit bei einem Sinne vielleicht

¹ Zwaardemaker, *Die Physiologie des Geruches*. Leipzig 1895. S. 39.

² Weissmann, *Ueber den Rückschritt in der Natur*. 1886.

eine Empfindlichkeit und einen Mangel an Widerstandsfähigkeit des Organes mit sich bringen, vielleicht auch eine so lange Entwicklungszeit verlangen würde, dass diese Nachtheile grösser wären als der erstgenannte Vortheil, welcher überdies in vielen Fällen vielleicht gar kein Vortheil wäre. Denn man kann sich leicht denken, dass die Fähigkeit, z. B. unendlich kleine Druckimpulse oder Wärme fluctuationen u. s. w. zu empfinden, im Kampfe ums Dasein eher schaden als nützen würde. Die Sinne sind ganz natürlich nach denjenigen Veränderungen und Erscheinungen in der äusseren Welt, welche für das Individuum und das Geschlecht eine Bedeutung haben, entwickelt und ihnen angepasst, nicht aber nach denen, die für sie gleichgültig sind.

In vielen Fällen können die Grenzen für das Wirkungsfeld der objectiven Reizmittel durch die Art der Construction des Sinnesorgans erklärt werden, welche bei der Entwicklungsrichtung, die die natürliche Züchtung nun einmal so zu sagen eingeschlagen hat, zu Stande gekommen ist. So z. B. bezüglich des Auges, wo, wie Fick angedeutet, es zu einem in optischer Beziehung ungünstigen Resultat führen würde, wenn die Netzhaut auch für ultraviolette Strahlen empfindlich wäre, und zwar durch die bedeutend vermehrte chromatische Abweichung, welche dies im Gefolge hätte.¹ Schwerer zu erklären ist die Unempfindlichkeit des Auges gegen die ultrarotheren Strahlen. Fick behauptet, wenn die Netzhaut gegen solche empfindlich wäre, so würde sie niemals ruhen dürfen, weil Stäbchen und Zapfen stets von den Wärmestrahlen aus den davorliegenden, 37° warmen Netzhautelementen gereizt werden würden. Dies dürfte doch unrichtig geschlossen sein, da ja auch Stäbchen und Zapfen dieselbe Temperatur haben müssen. Indess muss man sich erinnern, dass wir in unseren Wärmepunkten besondere Organe zur Auffassung der Wärmestrahlen besitzen.

Die Gehörgrenzen anlangend, ist es wohl anzunehmen, dass die Empfindung von Vibrationen, welche über der oberen Gehörgrenze liegen und wahrscheinlich für viele Insekten Bedeutung haben, für den Menschen und die Säugethiere im Kampfe ums Dasein kaum eine Rolle gespielt haben. Sie werden überdies in der Luft ausserordentlich schnell geschwächt. Vibrationen von sehr grosser Schnelligkeit sind sogar unfähig, sich durch längere Luftstrecken fortzupflanzen.²

Betreffs die unteren Tongrenze ist es schwer, auch nur eine Vermuthung auszusprechen. Es dürfte indess ein Zusammenhang existiren

¹ Fick, *Physiol. Optik.* Hermann's *Handb. d. Phys.* Bd. III. S. 182.

² Helmholtz, *Einfluss der Reibung auf Schallbewegung.* *Wiss. Abh.* I. S. 385.

zwischen dem Tonumfange der Thiere und dem Stimmumfange bei deren Freunden und Feinden, und der letztere ist offenbar nach unten durch die Körpergrösse begrenzt, indem diese (welche selbst durch viele andere Umstände begrenzt wird) auch die Grösse der Resonanzhöhlen begrenzt, durch welche die Thiere ihre Töne hörbar machen. Wenn die Elektrizität und der Magnetismus im Kampfe ums Dasein eine wichtige Rolle gespielt hätten, würden wir gewiss auch für sie Sinnesorgane besitzen.

Ich bin mit Kiesow überzeugt davon, dass die Entstehung der spezifischen Sinnesenergien sich nur entwicklungshistorisch mit Hilfe des Utilitätsprincipes erklären lässt, welches der ganzen Entwicklungslehre zu Grunde liegt, und ich hoffe, dass man auf diesem Wege durch comparative Untersuchungen auch die Entstehung der vier Geschmacksmodalitäten wird verfolgen können. Vielleicht wird es sich dann zeigen, dass sie sowohl ihrem Vorkommen, wie ihrem Entstehen nach recht unabhängig von einander sind, und dass man ebenso wenig das Fehlen von Uebergängen zwischen denselben, wie z. B. zwischen Wärme und Druckempfindungen, zu erklären braucht. Dass nur vier Geschmacksmodalitäten und nicht eine sehr grosse Anzahl entstanden sind, kommt wahrscheinlich davon her, dass gerade die, welche es jetzt giebt (in dem Maasse, wie es solche auch bei niederen Thieren giebt), von speciellem Nutzen im Kampfe ums Dasein gewesen sind.

Ich glaube im Vorhergehenden gute Gründe für die Ansicht angeführt zu haben, dass der Modalitätsbegriff der Eintheilung der Sinne zu Grunde zu legen ist. Fragt man nun, welche Consequenzen die Durchführung dieses Principes haben würde, so leuchtet es ein, dass diese Frage bislang nur sehr unvollständig beantwortet werden konnte, denn die Anwendung des Principes würde eine Menge Specialuntersuchungen voraussetzen, die erst noch auszuführen sind. Hier können nur einige Andeutungen gemacht werden.

Zunächst muss betont werden, dass die Eintheilung der Empfindungen in innere und äussere, wie oben erwähnt wurde, von den Modalitäten eigentlich unabhängig ist. Zwar werden offenbar die meisten Modalitäten im Ganzen und stets einer dieser beiden Kategorien angehören; dies aber gilt nicht unbedingt, was am besten durch ein Beispiel beleuchtet werden dürfte. Ich werde dabei eins von denen wählen, welches Weber bei seiner Erklärung der Ursache zur Objectivirung anführt. Wenn man Jemand, dem die Augen verbunden sind, eine glühende eiserne Stange vor das Gesicht hält, so fühlt er Wärme im Gesicht; dreht er den Kopf, so ändert sich die Empfindung in regel-

rechter Weise (geht zu der ursprünglichen zurück, wenn er den Kopf wieder in die erste Lage bringt u. s. w.). Darum objectivirt derselbe die Empfindung — fasst sie als eine Eigenschaft eines äusseren Gegenstandes auf, fühlt einen warmen Gegenstand vor dem Gesicht. Wenn er dagegen in einem anderen Falle, nehmen wir an, aus Scham erröthet, und in Folge dessen Wärme fühlt, so ändert sich die Empfindung nicht, wenn er den Kopf dreht, er objectivirt sie nicht, sondern fasst sie als Zustand seines Körpers auf; er fühlt sich warm im Gesicht. Man könnte weiter gehen und sich die rothwerdende Person einem kalten Luftzug ausgesetzt denken. Die kalte Empfindung würde sich dann bei Bewegung ändern, objectivirt werden, die Person würde einen kühlen Lufthauch fühlen. Aus diesem Beispiel geht deutlich hervor, dass ganz dieselbe Wärme- oder Kälteempfindung das eine Mal eine äussere, das andere Mal eine innere sein kann; entscheidend dabei ist keine Verschiedenheit in der Qualität, sondern andere Empfindungen, welche dieselbe begleiten.

Gesicht und Gehör betreffend wird, wie bereits angedeutet, durch Ansetzung des Modalitätsbegriffes als Eintheilungsgrund nichts geändert. Die Empfindungen von Drehung und Lage von den Bogengängen und Säcken her hat noch Niemand zum Gehör zu stellen gesucht, sie müssen natürlich besonders für sich aufgestellt werden. Der Geschmackssinn dagegen zerfällt, wie ich oben zu zeigen versucht habe, in vier Modalitäten (Sinne), innerhalb welcher es keine Qualitätsdifferenzen giebt (es giebt nicht verschiedene Arten Sauer u. s. w., wenn man sich wirklich an die einfachen Empfindungen hält); der Gefühlssinn zerfällt in mindestens 4: Kälte-, Wärme-, Druck- (bei welchen Qualitätsdifferenzen fehlen) und Schmerzsinne, vielleicht mehrere. Den Geruchssinn betreffend ist es schwer zu sagen, was für ein Resultat eine eingehendere Untersuchung ergeben würde. Die Anzahl der verschiedenen Geruchsarten scheint fast unendlich gross zu sein; dieser im Rückgang begriffene Sinn ist trotzdem der reichste von allen; vielleicht aber würde die Menge der verschiedenen Geruchsempfindungen weniger unübersichtlich erscheinen, wenn sie sich in ein oder mehrere „Spektren“ ordnen liessen. Wenn man nicht im Spektrum alle Farbentöne geordnet hätte, würde uns deren Anzahl vielleicht unerhört erscheinen, und doch kann ein normales Auge, wie König gezeigt hat, nicht mehr als etwa 160¹ unterscheiden. Es ist auch offenbar, dass man,

¹ König, Ueber die Anzahl der unterscheidbaren Spektralfarben und Helligkeitsstufen. *Zeitschr. für Psychologie u. Physiol. der Sinnesorgane*. 1895. Bd. VIII. S. 375.

wenn man nicht im Spektrum die Farben so zu sagen im Voraus geordnet vorfände, dies thun könnte, indem man alle möglichen Farben mit einander vergliche. Es will scheinen, als ob man in derselben Weise durch Vergleichen des Geruches einer sehr grossen Anzahl riechender Stoffe, ohne bei dem Versuche „auf die Etiquetten zu sehen“, und Ordnung derselben nach der grösseren oder geringeren Aehnlichkeit mit einander festzustellen, die Geruchsarten in mehr oder weniger Gruppen theilen könnte. Es würde sich dann zeigen, ob die neun Gruppen, welche Zwaardemaker in seiner schon citirten, ausgezeichneten Monographie über den Geruchssinn aufgestellt hat, genügen, in wie weit sie als Modalitäten zu betrachten sind u. s. w. Ob Contrast oder Compensation stattfindet oder nicht zwischen verschiedenen Gruppen oder Arten innerhalb derselben Gruppe ist, wie ich bereits betont, eine Frage für sich, welche nicht auf die Systematisirung einzuwirken braucht. In derselben Weise würde man mit den inneren Empfindungen verfahren, wo in diesem Falle fast noch Alles zu thun übrig ist. Der Umstand, dass wir für eine Anzahl innerer Empfindungen die entsprechenden Sinnesorgane noch nicht kennen, ist kein Grund, dieselben wie jetzt ganz zu versäumen oder, was ungefähr dasselbe bedeutet, sie unter der nichtssagenden Rubrik „Gefühl“ aufzuführen.

Wie wir bereits gesehen, bieten die Sinne unter einander grosse Verschiedenheiten dar: bei einigen giebt es verschiedene Qualitäten (Gehör, Gesicht), bei anderen nicht (Temperatursinne, Geschmackssinne); das Ohr kann die Klänge analysiren, das Auge aber kann die Farben nicht analysiren; gewisse Empfindungen können Contrast, Compensation u. s. w. geben, andere nicht. Es herrscht eben die grösste Abwechslung, und man muss bei einem Analogieschluss von einem Sinne auf einen anderen äusserst vorsichtig sein. Man hat nicht ohne Grund vor der Neigung gewarnt, Erfahrungen von den sog. höheren Sinnen auf die niederen anzuwenden.

Im Vorbeigehen sei hier erwähnt, dass der sog. Ortssinn, welcher noch hier und da in den Sinnesphysiologien unter einer besonderen Rubrik spukt, gewöhnlich unter dem Tastsinn, natürlicher Weise nicht als ein besonderer, selbständiger Sinn betrachtet werden darf. Alle oder fast alle Empfindungen haben ein mehr oder weniger ausgesprochenes Localzeichen, und das Vermögen, die Empfindungen oder deren äussere Ursache zu localisiren, kommt also in höherem oder niederem Grade allen Sinnen zu, obgleich der Gesichtssinn und der Drucksinn in dieser Hinsicht die anderen weit übertreffen. Die ersten bahnbrechenden Untersuchungen auf diesem Gebiete wurden bekanntlich von E. H. Weber über das Localisationsvermögen des Tastsinnes

(oder richtiger des Drucksinnes) gemacht; dies ist natürlich die Ursache, dass, wie schon erwähnt, der „Ortsinn“ unter dem Gefühlssinn angeführt wird. Es ist sehr bezeichnend für den gegenwärtigen chaotischen Zustand in der Sinnesphysiologie, dass eine so wichtige und umfassende Sache, wie die Localisation der Empfindungen, noch als Unterabtheilung des Tastsinnes behandelt werden kann.

Eine Folge der Anwendung des neuen Principes liegt offen da: anstatt unserer gewöhnlichen fünf Sinne müssen wir eine recht grosse Anzahl aufstellen, und es ist gewiss, dass diese Anzahl (wie die der Elemente in der Chemie) immer noch wachsen wird. Das schadet aber durchaus nichts. Dass eine vermehrte Differenzirung während der Entwicklung der Wissenschaft stattfindet, ist eine normale Erscheinung und ist immer als vortheilhaft betrachtet worden (*bene docet, qui bene distinguit*). Die Vortheile einer solchen Differenzirung würden sich bald zeigen, unter Anderem im Wegfall einer Menge veralteter Zusammenkoppelungen¹ von Empfindungen, welche nichts mit einander zu schaffen haben; wie bereits erwähnt, muss indess einer solchen Systematisirung eine eingehende Analyse aller Empfindungen vorausgehen, die als zusammengesetzte verdächtig sein können. Eine solche Analysirungsarbeit ist, so weit es die sog. niederen Sinne² be-

¹ Ein gutes Beispiel davon, wie weit man in dieser Beziehung hat gehen können, bieten die Versuche, welche seiner Zeit von Wunderli angestellt wurden, um die Identität des Wärme- und Drucksinnes zu beweisen (*Exp. Beiträge zur Physik des Tastsinnes. Diss. Zürich 1860. Vgl. Fick, Lehrb. der Anat. u. Physiol. der Sinnesorgane. 1864. S. 29*). Diese Versuche wurden so ausgeführt, dass die Haut mit einer Papphülle bedeckt wurde, welche mit einem kleinen Loch von 2 bis 5^{mm} Durchmesser versehen war; die so entblösste Hautstelle wurde bald mit Wärme (Bestrahlung mit einem erhitzten Metallstück), bald mit Druck (Berührung mit einer Holzspitze, einem Pinsel oder einer Baumwollflocke) gereizt, und da es sich zeigte, dass die Versuchsperson oft genug nicht angeben konnte, welches von den Reizmitteln man anwandte, hielt man dafür, dass dies für die Identität des Druck- und Wärmesinnes spreche. Wenn man bedenkt, dass Empfindungen, welche nahe der Schwelle liegen, unsicher sein müssen, so beweisen indess die Versuchsziffern eher das Gegentheil. Hierzu kommt aber ein Fehler in der Versuchsanordnung, der erwähnt zu werden verdient. Wenn das Fenster in der Papphülle mit einer Baumwollflocke u. s. w. geschlossen wird, muss der Wärmeverlust an der entsprechenden Stelle vermindert werden, was genug sein kann, um eine effective Wärmereizung zu erzeugen. Das grösste Interesse haben diese Versuche meiner Ansicht nach darum, weil sie ein schlagendes Beispiel dafür sind, wie grossen Einfluss alte Kategorien selbst auf das Urtheil sehr scharfsinniger Forscher ausüben können.

² Ein Beispiel davon, welche Schwierigkeiten durch mangelhafte Analysen

trifft, sehr nöthig. Dabei ist man keineswegs ausschliesslich auf directe, subjective Beobachtung angewiesen: einerseits kann man sich denken, dass in einer zusammengesetzten Empfindung durch geeignete Mittel die eine oder die andere Ingredienz verstärkt werden kann, wodurch die Aufmerksamkeit vielleicht vorzugsweise auf dieselbe gerichtet wird (wie mittels Helmholtz' Resonatoren in Bezug auf die Töne); andererseits kann in gewissen Fällen der eine oder der andere Bestandtheil in der zusammengesetzten Empfindung geschwächt oder geradezu unterdrückt werden (z. B. in Bezug auf zusammengesetzte Geschmacksempfindungen kann der süsse und der bittere Geschmack mittels Gymnemasäure aufgehoben werden, während die anderen Geschmacksarten ungravirt gelassen werden). Zuweilen können topographische Verschiedenheiten in der Sinnesfläche zu statten kommen, z. B. wenn.

entstehen können, sei hier angeführt. Vor Entdeckung der Kälte-, Wärme- und Druckpunkte glaubte man ziemlich allgemein an die Einheit des Gefühlsinnes, und hielt für eine Stütze dieser Auffassung unter Anderem eine Beobachtung von E. H. Weber, von welcher man glaubte, dass sie die Interferenz zwischen den Kälte- und Druckempfindungen bewiese. Ein Thalerstück von 4 bis 7° Temperatur, auf die Stirn gelegt, fühlt sich ebenso schwer oder sogar schwerer an als zwei andere von 37 bis 38°. Szabadföldi zeigte später eine Umkehrung dieser „Interferenz“, indem eine kleine hölzerne Scheibe von 50° sich schwerer anfühlte als eine grössere nicht erwärmte und auf derselben Hautstelle placirte. Funke suchte dieses Phänomen so zu erklären, dass man entweder die Intensität der Empfindung falsch schätzt, weil die Aufmerksamkeit nach zwei Richtungen getheilt ist, oder auch es wird die Empfindlichkeit des Druckendapparates durch die abnorm hohe oder niedrige Temperatur, bei welcher das Phänomen eintritt, gleichfalls erhöht (Funke, Der Tastsinn u. a. w., Hermann's Handbuch der Physiol. Bd. III. S. 320). Letzteres ist, wie man jetzt weiss, nicht der Fall, und die erstere Erklärung ist offenbar unrichtig, denn getheilte Aufmerksamkeit pflegt nicht dahin zu wirken, dass man die Intensität der Empfindung überschätzt, sondern umgekehrt. Meiner Meinung nach muss die Sache (welche leicht zu constatiren ist) so erklärt werden, dass es bei Beurtheilung der Schwere eines Körpers nicht immer nur Drucksensationen sind, nach denen man sich richtet; auch Wärme- und Kälteempfindungen dienen zur Leitung des Urtheiles. Schwere Körper leiten im Allgemeinen mehr Wärme ab als leichte, weil sie gewöhnlich bessere Wärmeleiter sind, grössere Wärmecapacität haben und weil ihre Schwere eine intimere Berührung bewirkt. Deshalb findet man ganz natürlich, dass im Allgemeinen ein kälterer Körper schwerer ist als ein anderer. Die Schätzung der Schwere eines Körpers ist in diesem Falle nicht eine reine Drucksensation, sondern eher ein Urtheil, gegründet auf eine zusammengesetzte Empfindung. Diese Erklärung passt natürlich ebenso gut für Szabadföldi's Experiment. Eine sorgfältige Analyse der Empfindungen würde die Schwierigkeiten beseitigt haben.

wie Alrutz¹ gezeigt hat, die Empfindung Heiss, welche eine Mischung von Warm und Kalt ist, nicht von einer Hautstelle ausgelöst werden kann, die zwar Wärme-, aber keine Kältepunkte hat. Durch Synthese der durch die Analyse gefundenen einfachen Bestandtheile in der zusammengesetzten Empfindung und durch comparative Versuche ist man zuweilen im Stande, das Resultat zu bestätigen und zu controliren. Auch hiervon giebt die oben angeführte Untersuchung Beispiele. Ueberhaupt ist das Princip für Vergleichung bei solchen Untersuchungen so weit als möglich anzuwenden, und die Versuche sind so anzuordnen, dass sie objective Gültigkeit haben.

Sogar in rein practischer, klinischer Beziehung würde die Durchführung des in Frage stehenden Principes für die Eintheilung der Sinne unmittelbar gute Wirkungen zeigen. Es ist ja einleuchtend, dass der klinische Untersucher bessere Resultate erhalten würde, wenn es ihm z. B. klar wäre, dass er anstatt eines Gefühlssinnes mindestens vier zu untersuchen hat. Man untersucht zwar schon jetzt die Druckempfindungen, Temperaturempfindungen u. s. w. besonders; so lange sie aber alle, nebst einer Menge anderer, unter der Rubrik Gefühlsinn zusammengeführt werden, wird es dem Untersuchenden schwer, zu fassen, dass sie ganz unabhängig von einander sein können, so dass z. B. das Vermögen, Kälte zu empfinden, fehlen, aber das, Wärme zu empfinden, noch bestehen kann u. s. w. Es gilt hier faktisch nicht einen Streit um Wörter, sondern um Principien, oder richtiger, es gilt ein Princip, einen wirklichen Eintheilungsgrund einzuführen, wo man bisher gar keinen befolgt hat.

Endlich seien noch einige Worte hinzugefügt, um einem Einwande, den gewiss der eine oder andere comparative Physiologe im ersten Augenblicke zu erheben geneigt sein könnte, von vorn herein zu begegnen. Das neue Princip, könnte er sagen, ist vortrefflich für die Sinnesphysiologie des Menschen, wohin aber kommen wir betreffs der Thiere, wenn wir die Modalitäten der Eintheilung der Sinne zu Grunde legen? Hierauf erfolge vorläufig die Antwort, dass alle die Einwürfe, welche im Vorstehenden gegen andere Eintheilungsgründe (das Organ, das adäquate Reizmittel) gemacht worden sind, natürlich ebenso gut in Bezug auf die Sinne der Thiere, als die des Menschen gelten. Auch hinsichtlich der Sinnesorgane der Thiere muss offenbar deren verschiedene Function der Grund für die Eintheilung sein, wenn dieselbe auch nicht durch unmittelbare Beobachtung, sondern nur durch indirecte studirt werden kann, wobei wohl auch die Kenntniss

¹ Alrutz, Die Hitzeempfindung. *Dies Archiv.* Bd. X. S. 345. 1900.

unserer eigenen Empfindungen (Sinnesphysiologie des Menschen) in allen anwendbaren Fällen einen entscheidenden Einfluss auf unsere Auffassung erhalten wird. Die Einführung des von mir vertheidigten Principes schliesst ja keine vernünftige anatomische oder physiologische Forschungsmethode aus, gleichviel ob neu oder alt. Die ersten Resultate derselben, nämlich die definitive Abschaffung der alten, ganz willkürlichen Eintheilung in fünf Sinne, dürfte auch von den comparativen Physiologen als eine Befreiung von unnöthigen Fesseln empfunden werden.

Untersuchungen über die Kohlensäureabgabe bei Muskelthätigkeit.

Von

Dr. J. E. Johansson.

(Aus dem physiologischen Laboratorium des Carolinischen medico-chirurgischen Instituts in Stockholm.)

I.

Es ist von Interesse, sowohl für rein praktische, technische und hygienische Zwecke, als für die Erforschung des Vorganges bei der Muskelcontraction, zu ermitteln, wie der Aufwand potentieller Energie im Körper bei Muskelthätigkeit von verschiedenen Variablen beeinflusst wird.

Die wichtigsten hierbei in Betracht kommenden Variablen sind: die Belastung der Muskeln, die Geschwindigkeit, die Frequenz und der Umfang der Contractionen. Es ist auch möglich, dass die Ausnutzung der potentiellen Energie bei verschiedenen Muskeln oder Muskelgruppen Individuen und mit verschiedenen körperlichen Zuständen wie Uebung Ermüdung, Nahrung u. s. w. variiert.

Es giebt weiter verschiedene Arten von Muskelthätigkeit. Gehen wir von der bekannten Formel

$$U = A + Q$$

aus, worin U die Energieabnahme, A die äussere Arbeit und Q die abgegebene Wärmemenge bezeichnet, können wir je nachdem $A \geq 0$ drei Arten von Muskelthätigkeit unterscheiden.

1. $A > 0$. Eine äussere mechanische Arbeit wird geleistet. Man spricht in diesem Falle von einer positiven Muskelarbeit. Die Gymnasten nennen diese Art von Muskelthätigkeit active oder concentrische Muskelbewegungen.

2. $A = 0$. Keine äussere Arbeit wird verrichtet. Diese Art von

¹ Der Redaktion am 8. October 1900 zugegangen.

Muskelthätigkeit, welche z. B. beim Tragen von Lasten stattfindet, hat man statische Arbeit genannt.

Die betreffenden Muskeln werden erstens ins Contractionsstadium versetzt, zweitens in diesem Zustande eine gewisse Zeit behalten. Die hierbei im Körper aufgewandte Menge potentieller Energie, welche offenbar von der Belastung, der Contractionsdauer und dem Verkürzungsgrade der Muskeln abhängig ist, wird vollständig in Wärme überführt.

3. $A < 0$. In diesem Falle wird eine gewisse Menge äusserer Arbeit aufgewandt und dem Körper zugeführt. Da die Muskelcontraction ein irreversibler Process ist, wird diese Arbeit in Wärme verwandelt. Gleichzeitig wird, wie im vorigen Falle, eine gewisse Menge potentieller Energie aufgewandt, um den Contractionszustand der Muskeln herzustellen und zu behalten. Es fragt sich nur, ob der willkürliche Nachlass, d. h. der Uebergang von höherem zu niedrigerem Contractionsgrade, mit einem besonderen Energieaufwand verbunden ist. Es ist ja die Vermuthung ausgesprochen, dass die Abstufung der Bewegungen in einem Gelenke dadurch hergestellt wird, dass antagonistisch wirkende Muskelgruppen gleichzeitig thätig sind. Diese Art von Muskelthätigkeit, bei welcher der äussere mechanische Effect negativ ist, hat man negative Muskelarbeit genannt. Die Gymnasten sprechen von passiven oder excentrischen Muskelbewegungen.

Die gewöhnlichen, täglichen Muskelbewegungen sind von jenen drei Arten von Muskelthätigkeit zusammengesetzt. Eine positive äussere Arbeit wird ja im Allgemeinen nicht verrichtet, ohne dass die Muskeln zuerst bis zu einem gewissen Grade contrahirt worden sind und eine statische Arbeit schon geleistet haben.

Es schien nun von Interesse zu sein, jene Arten von Muskelthätigkeit jede für sich zu untersuchen, und zwar den Einfluss, welchen einige von den oben angeführten Variablen auf den Energieumsatz im Körper ausüben.

Für eine derartige Untersuchung ist es nothwendig, eine Muskelbewegung zu wählen, die erstens keine grosse Uebung erfordert, zweitens bequem ausgeführt werden kann, ohne dass durch zufällige Mitinnervation unbeabsichtigte und unkontrollirbare Bewegungen zu Stande kommen.

Einen einzigen Muskel oder sogar Muskelgruppe zu untersuchen, dessen Thätigkeit auf den Gesamtstoffwechsel des Körpers einen der Schärfe unserer Beobachtungsmethoden entsprechenden Einfluss ausübt, schien mir nicht ausführbar. Ich wählte das horizontale Ziehen mit

beiden Armen, etwa dieselbe Armbewegung, die beim Rudern stattfindet. Bei dieser Bewegung fand ich keine Schwierigkeit, unbeabsichtigte Bein- und Rumpfbewegungen zu vermeiden. Natürlich sind die die Schulter fixirenden Muskeln an dieser Bewegung theilhaftig. Das ist aber keine zufällige Muskelthätigkeit, sondern sie findet regelmässig statt.

Die von mir gewählte Bewegung schien mir auch in gewissen Beziehungen einfacher als die, welche bei Arbeiten mit Gärtner's Ergostat oder Fick's Dynamometer ausgeführt wird. Bei diesen Maschinen werden Muskeln, die Antagonisten sind, am Gesamteffekt theilhaftig. Man arbeitet z. B. abwechselnd mit den Beugern und den Streckern des Armes. Es ist aber von Interesse, jede Bewegung für sich zu untersuchen. Weiter wird bei diesen Apparaten nur die positive Muskularbeit, nicht aber die statische oder die negative berücksichtigt.

Ich habe also für meine Untersuchung einen besonderen Apparat von dem Mechaniker des hiesigen Laboratoriums, Jarl, anfertigen lassen.

In Fig. 1 wird die Anordnung von diesem Apparate dargestellt. Die Versuchsperson sitzt auf einem Stuhle mit Rückenlehne, stützt die Vorderseite der Brust gegen eine seichte Ausschweifung des Tisches *A* und lässt die Arme auf dem Tische und die Hände auf den Griffen *D* ruhen. Bei jedem Versuche wird immer genau dieselbe Stellung eingenommen.

An der entgegengesetzten Seite des Tisches *A* befindet sich eine Eichenbohle *B*, welche die Axe *GG* trägt. Um diese Axe kann die Rolle *C* gedreht werden. An der Rolle sind zwei Ketten¹ befestigt, die in je einer Rinne über der Rolle laufen. Die eine Kette trägt das Gewicht *P*, die andere ist mit dem Schlitten *E* verbunden, welcher auf der Schiene *T* läuft und die beiden Griffe *D* trägt. Von einer elektrischen Signalluhr werden der Versuchsperson in regelmässiger und zwar stellbarer Reihenfolge Glockensignale gegeben und in entsprechender Reihenfolge sollen die Bewegungen ausgeführt werden. Die Versuchsperson fasst die beiden Griffe, auf denen die Hände schon vorher ruhen. Bei positiver Muskularbeit wird der Schlitten nach der Versuchsperson hingezogen und das Gewicht *P* hierdurch gehoben. Bei statischer Muskularbeit wird der Schlitten nur um 1—2^{mm} bewegt und dann so lange festgehalten, bis ein neues Glockensignal das Ende der Contractionsperiode angiebt. Bei negativer Muskularbeit wird beim Fassen der Griffe ein Sperrmechanismus losgelassen und die Versuche-

¹ Velocipedketten eignen sich zu diesem Zwecke vorzüglich.

person kann dem Zuge des Gewichts P nachgebend den Schlitten in der Richtung von sich hinweg mit gleichmässiger Geschwindigkeit laufen lassen. Jedes Mal, nachdem die Versuchsperson das Gewicht P gehoben oder gesenkt hat, wird das Gewicht P automatisch in ent-

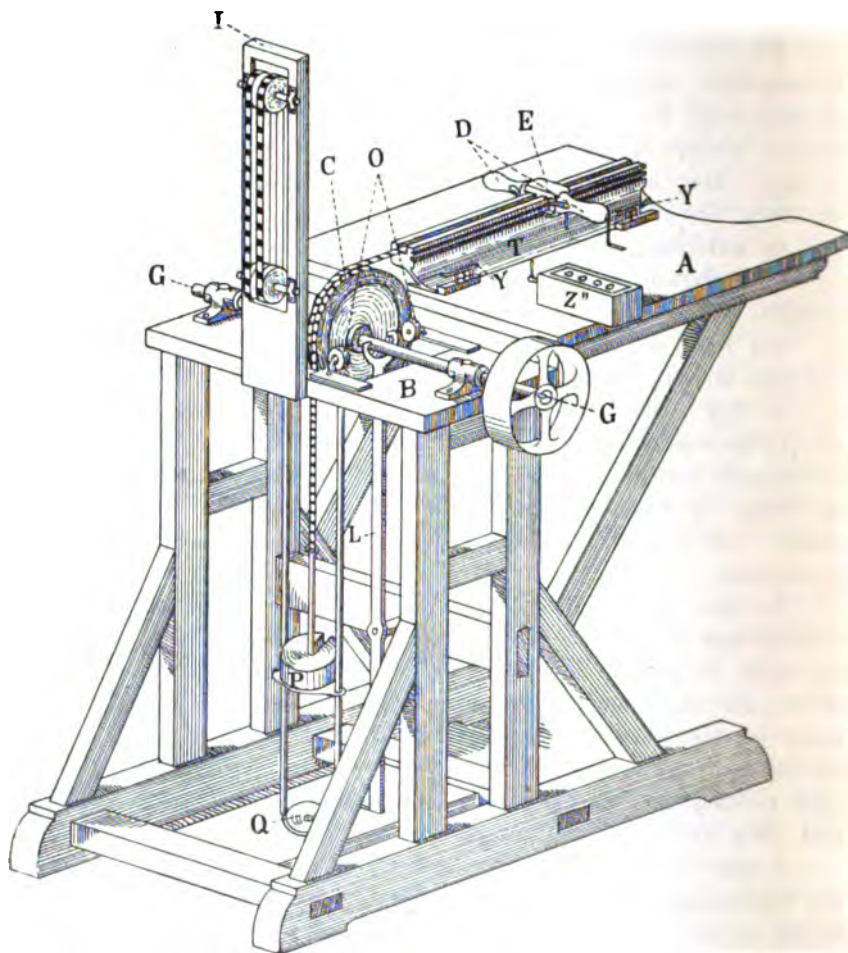


Fig. 1.

gegengesetzter Richtung geführt und der Schlitten in die Anfangsstellung gebracht. Die Versuchsperson kann also eine beliebig lange Reihe einfacher Bewegungen ausführen. Wir wollen im Folgenden für diese Bewegungen die Bezeichnungen „Hebung“, „Senkung“ und „Halten“ anwenden.

Dadurch dass der Schlitten *E* und das Gewicht *P* in verschiedenen Punkten an den betreffenden Ketten befestigt werden können, ist es möglich die Bewegungen des Schlittens von verschiedenen Punkten der Schiene *T* ausgehen zu lassen, d. h. die Anfangsstellung beliebig zu wählen.

Die einzelnen Bewegungen, welche während einer Versuchsperiode ausgeführt werden, sollen so wenig wie möglich von einander abweichen. Es war daher nothwendig besondere Vorrichtungen herzustellen, welche die einzuhaltende Geschwindigkeit und ebenfalls den Umfang der Contractionen für die Versuchsperson angeben und zwar müssen diese Vorrichtungen stellbar sein. Diese Theile sollen weiter unten (Seite 281 bis 282) beschrieben werden.

Die Reihenfolge der einzelnen Bewegungen und also auch die Zahl derselben in einer Versuchsperiode, die Anfangsstellung, die Geschwindigkeit und der Umfang der Bewegungen, also auch die Dauer derselben — alle jene Einzelheiten werden für die Versuchsperson deutlich und bequem angegeben. Durch besondere Vorrichtungen wird es auch ermöglicht, nach den Versuchen zu kontrolliren wie vollständig die Versuchsperson die betreffenden Angaben beobachtet hat. Die Zähler *Z''*, *Z'* (Fig. 1 und 5) markiren die Zahl und Gesamthöhe der einzelnen „Hebungen“ oder „Senkungen“, und mittels elektrischer Signale *Y*, *Y'* (Seite 282) wird die Dauer der Bewegungen aufgeschrieben. Bei „statischer Muskelarbeit“ kann zwar die Zahl der einzelnen Contractionen vom Zähler *Z''* nicht angegeben werden. Die Versuchsperson kann aber auf die Signale von der elektrischen Signalluhr so genau aufpassen, dass sie nachher weiss, dass die bestimmte Zahl Bewegungen in der Versuchsperiode wirklich ausgeführt worden ist. Schliesslich ist zu erwähnen, dass die Maschine, mit den zur Anwendung kommenden Gewichten belastet, mittels eines Dynamometer geeicht wurde (Seite 283). Hierdurch lässt sich die wirkliche Belastung der Muskeln in jedem Falle bestimmen.

Während einer Versuchsperiode wird eine gewisse Anzahl Bewegungen ausgeführt, welche von einander nur sehr wenig abweichen. Durch die erwähnten Vorrichtungen kann man nach dem Versuche die mittlere Geschwindigkeit oder Dauer der einzelnen Contractionen, die mittlere Höhe der „Hebungen“ oder „Senkungen“ und die mittlere Belastung der Muskeln während der Contractionen berechnen. Die Muskelthätigkeit, welche während einer Versuchsperiode stattgefunden hat, lässt sich zunächst durch die Zahl dieser Bewegungen, deren Ausgangspunkt, Umfang, Dauer sammt der mittleren Belastung bekannt sind, berechnen.

II.

Nach dem Ueberblick über die Anwendung des Apparates wollen wir einige Einzelheiten desselben näher beschreiben.

Die Schiene *T* ist aus Gusseisen. Der Querschnitt derselben wird in Fig. 2 dargestellt. In den Rinnen *U, U* gleiten die Platten *E, E'* des Schlittens. Die maximale Verschiebung derselben beträgt 50^{cm}.¹ In die Rinnen kann max. Metallstangen hineinschieben, gegen welche die Platten *E, E'* gestemmt werden. Hierdurch kann man die Anfangslage des Schlittens beliebig wählen.

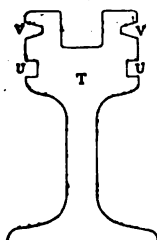


Fig. 2

In die keilförmigen Rinnen *V, V* greifen zwei Excenterscheiben *V', V'* ein, welche als Sperre bei der Einstellung der Maschine für passive Muskelarbeit dienen.

Der Schlitten wird in Fig. 3 von oben und in Fig. 4 von hinten dargestellt. *F* ist die Schraube, an der die Kette befestigt wird. Jede der beiden Excenterscheiben *V', V'* ist mit einer zangenförmigen Verlängerung versehen. Wenn die Versuchsperson die Griffe *D, D* fasst, werden

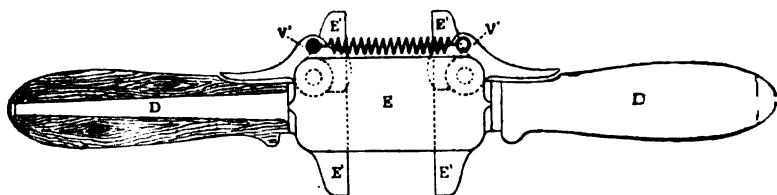


Fig. 3.

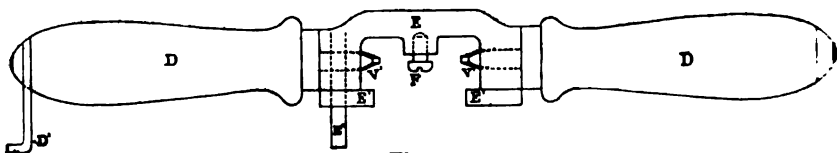


Fig. 4.

jene Zangen in entsprechende Ausschweifungen der Griffe *D, D* hineingedrückt. Bei dieser Bewegung werden die Excenterscheiben aus den entsprechenden keilförmigen Rinnen *V, V* losgemacht und der Schlitten gleitet frei auf den Platten *E, E'* in den Rinnen *U, U*.

¹ Die Rinnen sind in dem distalen (von der Versuchsperson her gerechnet) Ende gesperrt, nicht aber im proximalen. Daher kommt es, dass in einigen Versuchen die Verschiebung einige Millimeter mehr beträgt.

Wenn aber die Versuchsperson die Griffe loslässt, werden die Excenterscheiben durch den Zug einer Spiralfeder gegen die Wände der Rinnen V, V gedrückt und der Schlitten bleibt sofort stehen. Die beiden Griffe D, D , die beiden Excenterscheiben V', V' die beiden Rinnen V, V werden in zwei symmetrischen Hälften durch eine Horizontalebene getheilt, welche den Befestigungspunkt F und die Zugrichtung der Kette enthält und also die Rolle C tangirt. Die Excenterscheiben kommen nur bei der Einstellung der Maschine für negative Muskelarbeit zur Anwendung. In den übrigen Fällen wird die Spiralfeder weggenommen und durch eine Metallstange ersetzt, welche die beiden Excenterscheiben auseinanderhält. Die Platten E, E und die Excenterscheiben sind aus Eisen, die Griffe D, D haben eine Holzbekleidung. Die übrigen Theile des Schlittens sind aus Rothmetall.

Die Vorrichtung für die automatische Senkung des Gewichtes. Einstellung der Maschine für positive Muskelarbeit. In Fig. 5 stellt C die Rolle mit den oben beschriebenen zwei Rinnen

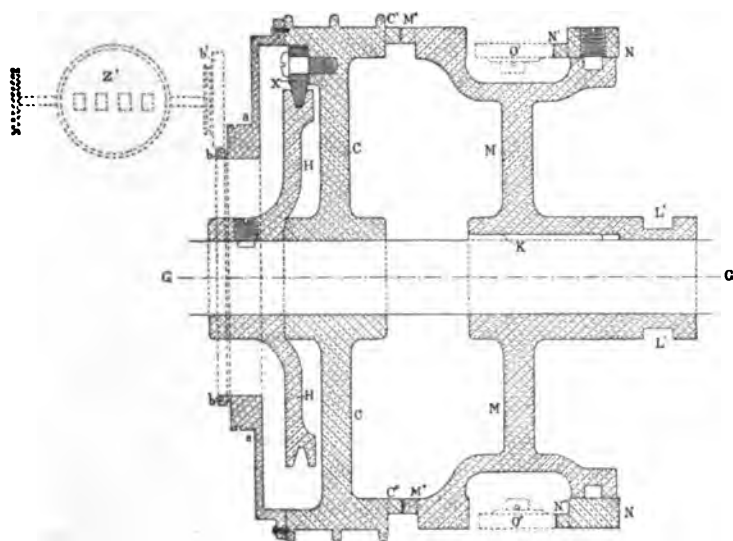


Fig. 5.

für die beiden Ketten dar. Die Rolle trägt drei keilförmige Excenterscheiben X , welche in einer entsprechenden Rinne des Rades H passen. Die Rolle C ist um die Axe GG drehbar, das Rad H ist dagegen mit der Axe durch eine Stellschraube fest vereinigt. Wenn die Versuchsperson den Schlitten E (Fig. 1) zieht und das Gewicht hebt,

gleiten die Excenterscheiben in der Rinne. Wenn der Zug von der Schlittenkette aus nachlässt, werden die Excenterscheiben sofort in die Rinne gedrückt und die Rolle *C* folgt nunmehr dem Rade *H*, welches mittels der Axe *GG* von einem elektrischen Motor gedreht wird. Diese Drehung ist so gerichtet, dass das Gewicht *P* gesenkt wird. Gleichzeitig geht der Schlitten in die Anfangsstellung zurück. Die Länge der beiden Ketten ist so abgepasst, dass das Gewicht in demselben Augenblicke die Bodenplatte erreicht, wo der Schlitten gegen die in den Rinnen *U, U* (Fig. 2) angebrachten Sperren stösst, welche die Anfangsstellung des Schlittens bestimmen. Bei dieser Stellung des Schlittens und des Gewichtes hört der Druck auf, der die Excenterscheiben in die Rinne des Rades *H* hineinpresst. Die Verbindung der Rolle *C* mit dem Rade *H* wird gelöst. Die Rolle bleibt stehen, das Rad dreht sich immer fort mit der Axe *GG* und die Excenterscheiben gleiten in ihrer Rinne. Die beiden Ketten sind gespannt, so dass eine nachherige Verschiebung des Schlittens sofort eine Drehung der Rolle und Hebung des Gewichtes bewirkt. Bei der Einstellung der Maschine für negative Muskelarbeit bleiben die Excenterscheiben aus ihrer Rinne entfernt. Dadurch, dass erstens die Excenterscheiben augenblicklich und ohne jede Spur von Gleitung schliessen, zweitens die Verbindung der Axe mit dem Motor durch einen Riemen vermittelt wird, findet beim Nachlass des Zuges kein störender Ruck statt. Es wäre sonst fast unmöglich für die Versuchsperson, ruhig und natürlich die Muskeln abzuspannen.

Die Rolle *C* und das Rad *H* sind aus Rothmetall, die Excenterscheiben *X* aus Eisen.

Die Vorrichtung für die automatische Hebung des Gewichtes *P*. Die Einstellung der Maschine für negative Muskelarbeit. Neben der Rolle *C* befindet sich (Fig. 5) eine andere Rolle *M* von ziemlich complicirter Form.¹ Diese ist mit der Axe *GG* mittels des Keiles *K* verbunden, und wird also mit der Axe gedreht, kann aber längs der Axe verschoben werden. Wenn die Rolle *M* nach der Rolle *C* zu hinreichend verschoben wird, während diese still steht und jene sich dreht, kommen die Absätze *M'*, *M''* gegen die Absätze *C'*, *C''* zu stemmen, und zwar *M'* gegen *C'* und *M''* gegen *C''*, nicht aber umgekehrt. Hierbei wird auch die Rolle *C* mit der Axe *GG* gedreht und das Gewicht *P* gehoben. An der Rolle *M* ist eine ringförmige Scheibe *N* durch Schrauben befestigt. Diese gleitet, bei der

¹ In Fig. 1 ist die Rolle *M* ausgeschlossen worden, um den Ueberblick über die übrigen Theile nicht zu stören.

betreffenden Lage der Rolle M , gegen die Rollen O' , O'' , welche an der Eichenbohle B befestigt sind. Die Scheibe N trägt zwei keilförmige Absätze, N' , N'' , von denen für jeden Umlauf N' gegen O' , und N'' gegen O'' gleitet. Die Rollen O' und O'' sind unverrückbar befestigt, folglich wird die Scheibe N und mit dieser die ganze Rolle M von der Rolle C hinweg verschoben. Die Verbindung der Rolle C mit der Axe GG wird in diesem Augenblick gelöst und das Gewicht P würde fallen, wenn nicht die schon beschriebene Sperrvorrichtung am Schlitten E dies verhinderte. Während das Gewicht P von der Maschine gehoben wird, zieht nämlich die Versuchsperson den Schlitten zurück. Die hierbei geleistete Arbeit ist so unbedeutend, dass ich es nicht für nöthig gehalten habe, eine automatische Vorrichtung für diese Bewegung des Schlittens zu konstruiren. Es ist doch einige Uebung erforderlich, damit die Versuchsperson erstens die rechtzeitige Zurückziehung des Schlittens nicht versäumt, zweitens bei dieser Bewegung die Muskeln nicht mehr als nothwendig spannt.

Die Scheibe N ist stellbar im Verhältniss zur Rolle M . Die Strecke, um welche das Gewicht gehoben wird, kann dadurch variirt werden.

Die Verschiebung der Rolle M gegen die Rolle C hin wird folgendermassen bewirkt. Bei Senkung des Gewichtes P drückt dasselbe auf den Knopf Q (Fig. 1), dessen Verschiebung auf den zweiarmigen Hebel L überführt wird. Das obere gabelförmige Ende dieses Hebels passt in der Rinne $L'L'$ an der Rolle M . Bei der Einstellung der Maschine für positive oder statische Muskelarbeit wird der Hebel L gesperrt und der Knopf Q durch eine Platte geschützt. Die Rolle M ist aus Rothmetall, der Hebel L aus Eisen.

Die Abpassung der Contractionen. Bei den Hebungen sollen die Muskelcontractionen aufhören, sobald der Schlitten eine bestimmte Lage erreicht hat. Zu diesem Zwecke ist es nicht geeignet eine Sperre anzubringen, weil eine solche Vorrichtung Stöße verursachen würde. Ich habe daher neben der Schiene T eine federnde Metallplatte angebracht, welche die Hand der Versuchsperson berührt, unmittelbar ehe der Schlitten die betreffende Endlage erreicht hat. Die Eindrücke dieser leisen Berührungen geben der Versuchsperson eine hinreichende Leitung, um den Umfang der Contractionen abzapassen.

Geschwindigkeitsmarkirer. Folgende Vorrichtung hat den Zweck für die Versuchsperson, die Geschwindigkeit anzugeben, mit welcher die Hebungen oder Senkungen ausgeführt werden sollen. In einem vertikal gestellten Rahmen I , welcher an der Bohle B befestigt ist, sind neben einander zwei Paaren Rollen angebracht, über welche je ein Riemen mit schwarzen und weissen, 1^{cm} breiten, Streifen läuft.

Die Versuchsperson, welche an der anderen Seite des Tisches sitzt, hat also vor sich die zwei vertikalen Riemen und kann mit den Augen den Bewegungen derselben bequem folgen. Auf das eine Rollenpaar wird die Drehung der Rolle *C* mittels einer Kette und zwei Zahnrädern überführt. Das andere Rollenpaar wird auf dieselbe Weise von der Axe *GG* getrieben. Der eine Riemen giebt also die Bewegung des Gewichtes *P* oder des Schlittens *E* wieder. Der andere Riemen bewegt sich mit einer Geschwindigkeit, welche durch eine stellbare Auswechslung geregelt werden kann. Die Versuchsperson soll den Schlitten mit solcher Geschwindigkeit führen, dass die Streifen der beiden Riemen einander folgen. Bei den Versuchen sind 5 verschiedene Auswechslungen zur Anwendung gekommen, die wir im Folgenden mit I, II, III, IV, V bezeichnen wollen; 0 bedeutet, dass die jetzt beschriebene Vorrichtung ausgeschlossen worden ist und dass die Versuchsperson die Bewegungen so schnell wie es ohne besondere Anstrengung möglich war, ausgeführt hat. In Tab. 2 ist die Dauer einer Hebung oder Senkung um 50^{cm} bei den verschiedenen Auswechslungen angegeben. In Fig. 5 wird die Vorrichtung dargestellt, welche die Drehung der Rolle *C* auf den betreffenden Riemen des Geschwindigkeitsmarkirers überführt. Eine Büchse, durch Schrauben an der Rolle *C* befestigt, trägt eine Rolle *a* mit einer Rinne für die Kettenverbindung mit der betreffenden Rolle der Geschwindigkeitsmarkirer. Neben der Rolle *a* befindet sich ein Zahnrad *b*, das die Drehung der Rolle *C* auf den Zähler *Z'* überführt.

Der Zähler *Z'*, welcher die Gesammthöhe der während einer Versuchsperiode ausgeführten Hebungen oder Senkungen angiebt: Ein gewöhnlicher Zähler, welcher die Umläufe einer Axe angiebt, wird mit guten Sperrvorrichtungen versehen, die ausschliesslich den Gang in einer Richtung gestatten. Dieser Zähler wird mittels eines Zahnrades *b'* (Fig. 5) mit der eben beschriebenen Büchse in Verbindung gesetzt. Eine Umdrehung der Axe dieses Zählers entspricht nach directen Bestimmungen eine Hebung des Gewichtes um 21.74^{cm}. —

Der Zähler *Z''*, welcher die Zahl der einzelnen Hebungen oder Senkungen angiebt, ist auf dem Tische *A* (Fig. 1) befestigt und wird durch den Haken *D*₁ (Fig. 3) von dem Griffe *D* des Schlittens *E* in Bewegung gesetzt.

Die Dauer der einzelnen Bewegungen wird folgendermaassen aufgeschrieben. Am Schlitten *E* ist eine kleine Metallstange *K*, befestigt, die bei der Bewegung des Schlittens electriche Contacte (bei *Y*, *Y* Fig. 1) auslöst. Diese Contacte werden so eingestellt, dass sie

der Anfangs- und Endlage des Schlittens entsprechen. Ein Strom wird durch diese Vorrichtung am Anfang der Bewegung geschlossen und am Ende derselben geöffnet. Die Schliessungen und Oeffnungen werden auf einem rotirenden Cylinder markirt.

III.

Aichung des Apparates. In den Theilen des Apparates, welche von der Versuchsperson bewegt werden, findet sich eine gewisse Reibung vor. Ich habe daher die wirkliche Belastung direct bestimmt, welche die Versuchsperson bei den verschiedenen Versuchen zu „heben“, „senken“ oder „halten“ hat.

Der Schlitten E wird mit einem anderen Schlittenapparat mittels einer Federwaage verbunden (Fig. 6). Die beiden Enden der Federwaage sind mit den Schreibern r_1, r_2 verbunden. Während das Papier p senkrecht gegen die Bewegungsrichtung der beiden Schlitten geführt wird, wird mittels des Schlittens s das Gewicht P gehoben oder gesenkt und zwar mit der von der oben beschriebenen Vorrichtung angegebenen Geschwindigkeit. Man misst den Abstand zwischen den entsprechenden Punkten der beiden hierbei erhaltenen Curven und kann dadurch theils die Spannung der Federwaage in den verschiedenen Abschnitten der Bewegung, theils die mittlere Spannung während der ganzen Bewegung ermitteln. Bei diesen Bestimmungen waren, ganz wie bei den eigentlichen Versuchen, alle Theile, wo Reibung stattfindet, gut geschmiert. Die jetzt beschriebenen Bestimmungen wurden von Zeit zu Zeit während der eigentlichen Versuchsreihen vorgenommen. Die Ergebnisse werden in Tab. 1 und 2 mitgetheilt.

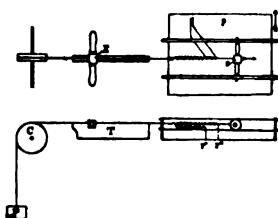


Fig. 6.

Wie aus der Tab. 1 hervorgeht, beträgt die Reibung 0.55^{ks} für je 10^{ks} der Belastung. Diese Bestimmungen beziehen sich nur auf die Reibung zwischen der Rolle C und der Axe GG und zwischen den einzelnen Theilen der Ketten. Die Reibung zwischen dem Schlitten und der Schiene T ist so gering, dass dieselbe aus Betracht gelassen werden kann. Dagegen kommt bei den Hebungen die Reibung zwischen den Excentern X und dem Rade H hinzu.

Bei einer später (April 1900) ausgeführten Bestimmung wurden bei der Hebung des Gewichtes jene Excenterscheiben hinzugefügt. Die Bestimmungen wurden auch bei verschiedenen Geschwindigkeiten ausgeführt. Die Ergebnisse werden in Tab. 2 mitgetheilt.

Wie aus der Tab. 2 hervorgeht, wird die Reibung in der Maschine

Tabelle 1.

Datum	Mittlere Spannung bei der Belastung					
	10 kg		20 kg		30 kg	
	Hebung	Senkung	Hebung	Senkung	Hebung	Senkung
22. Dec. 1898	10.6 kg	9.4 kg	21.4 kg	19.1 kg	31.6	28.5 kg
	10.5	9.8	21.4	18.6	31.4	28.5
	—	9.2	21.4	18.9	31.8	28.6
	—	9.8	21.1	19.2	—	—
	—	9.8	21.0	18.9	—	—
	—	9.2	21.1	—	—	—
	—	9.8	21.8	—	—	—
	—	9.3	21.4	—	—	—
	—	—	21.2	—	—	—
	10.5	9.4	21.4	—	—	—
26. Juni 1899	10.8	9.4	21.8	—	—	—
	10.6	—	21.2	—	—	—
	10.4	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	31.4	—
4. April 1899	—	—	—	—	32.0	—
	—	—	—	—	31.8	—
	—	—	—	—	31.7	—
	—	—	—	—	—	—
Mittel	10.48	9.31	21.27	18.94	31.67	28.58
Reibung	0.48	0.69	1.27	1.06	1.67	1.47
	0.58 kg		1.16 kg		1.57 kg	

Tabelle 2.

Aus- wechs- lung	Hebung		Senkung		Belastung der Maschine
	Dauer	Mittlere Spannung	Dauer	Mittlere Spannung	
0	— Sec.	22.0 kg	— Sec.	18.4 kg	20 kg
I	1.0	21.7	0.9	18.7	20
II	2.0	21.2	1.9	19.2	20
III	3.2	21.1	2.8	19.8	20
IV	4.9	21.0	4.4	19.4	20
V	10.8	21.0	10.4	19.4	20

und folglich die wirkliche Belastung der Muskeln von der Geschwindigkeit der Bewegung beeinflusst. In Betracht kommt doch dieser Einfluss erst, wenn das Gewicht schneller als 50^{cm} in 2 Secunden [Auswechselung II] bewegt wird.

Aus der Tab. 2 kann man auch den Einfluss der Excenterscheiben ermitteln. Wenn die Verhältnisse unverändert dieselben wären bei Hebung und Senkung, würde natürlich die Belastung (20^{kg}) das arithmetische Mittel der Spannung der Federwaage bei Hebung und bei Senkung sein. Nun sieht man, dass die Spannung bei Hebung um etwa 0.4^{kg} überwiegt. Die in Tab. 1 mitgetheilten Bestimmungen wurden mit der Auswechselung I ausgeführt. Der Unterschied zwischen dem Mittel dieser Bestimmungen 21.27^{kg} und dem entsprechenden Werthe 21.7^{kg} in Tab. 2 beträgt 0.43^{kg} . Wir können also für die Reibung der Excenterscheiben den Werth 0.4^{kg} annehmen. Dieser Werth ist natürlich von der Belastung der Maschine unabhängig.

Die in Tab. 1 angeführten Werthe der mittleren Spannung bei Hebung des Gewichtes müssen also um 0.4^{kg} erhöht werden, um auf die wirklichen Verhältnisse bei den Versuchen bezogen werden zu können. Als Werthe der wirklichen Belastung der Muskeln bei den im Folgenden angeführten Versuchen (S. 295 bis 299) wollen wir also 10.9 , 21.7 , 32.1^{kg} annehmen.

Bei „statischer Muskellarbeit“ wird das Gewicht erst ein wenig, 1 bis 2^{mm} , gehoben und dann gehalten. Man hat also, bei der Bestimmung der wirklichen Belastung, die Reibung bei jenen beiden Zuständen jede für sich zu berücksichtigen. Bei den fraglichen Versuchen habe ich den elektrischen Motor mit der Axe GG im Betrieb gehalten und zwar in derselben Richtung wie bei „positiver Muskelarbeit“. Die Reibung zwischen der Rolle C und der Axe strebt also, die Belastung der Muskeln zu vermehren.

Bei der Bestimmung dieser Reibung ging ich folgendermaassen zu Wege. Die Spannung der Federwaage in demjenigen Augenblicke, wo das Gewicht sich nach oben zu bewegen anfang, wurde bestimmt und zwar bei den beiden Drehungsrichtungen der Axe GG . Die Ergebnisse werden in Tab. 3 mitgetheilt.

Tabelle 3.

Drehungsrichtung der Axe GG und der Rolle C	Spannung der Federwaage bei der Belastung der Maschine mit den Gewichten		
	10 kg	20 kg	30 kg
derselbe	10.6	21.4	31.9
entgegengesetzt	10.1	20.8	30.4
Diff.	0.5	1.1	1.5

Die in der zweiten Zeile enthaltenen Zahlen geben die Belastung der Muskeln in dem Augenblicke an, wo die Hebung des Gewichtes

ausschliessliche Fettnahrung den Nahrungszustand des Körpers verändert, ist es wohl möglich, dass die CO_2 -Abgabe sowohl bei Muskelruhe als bei Muskelthätigkeit andere Werthe als bei gewöhnlicher Lebensweise darbietet. Davon wissen wir bis jetzt noch nichts. So viel scheint aber sicher zu sein, dass es bei gewöhnlicher Lebensweise hinreichend ist, den unmittelbaren Einfluss von der Nahrungsaufnahme auszuschliessen, um die CO_2 -Abgabe als Maass des bei Muskelthätigkeit stattfindenden Energie-Umsatzes zu benutzen.

Es ist nicht möglich, die Thätigkeit der einzelnen Muskeln, welche bei einer gewissen Bewegung theilhaftig sind, zahlenmässig auszudrücken. So lange man nicht alle anatomischen Einzelheiten der betreffenden Muskeln und des Hebelsystems, auf das die Muskeln wirken, so genau kennt, dass man die Lage jener Theile in einem Coordinatensystem angeben kann, und weiter auch nicht kennt, wie die Spannungen der verschiedenen Muskeln, welche auf denselben Hebel wirken, sich verhalten, muss man sich damit begnügen, nur den Gesamteffect der theilhaftigen Muskeln zu berücksichtigen. Wie dieser bei meinen Versuchen zahlenmässig angegeben wird, ist schon oben (S. 277) erwähnt.

Ich führe hier die Grössen an, welche bei den einzelnen Versuchen bestimmt werden und gebe zugleich auch die Bezeichnungen an, welche ich im Folgenden für diese Grössen benutze:

1. $[\text{CO}_2]$ bezeichnet die von der Versuchsperson während einer Versuchsperiode abgegebene CO_2 -Menge in Grammen ausgedrückt. Wie oben erwiesen worden ist, kann diese Grösse als Maass des Energie-Umsatzes betrachtet werden.

2. Die Muskelthätigkeit, welche während der Versuchsperiode stattgefunden hat — abgesehen von Herz- und Athembewegungen — wird durch folgende Grössen ausgedrückt:

N Zahl der einzelnen Contractionen;

P Belastung der Muskeln während einer Contraction, in Kilogrammen ausgedrückt;

H Verschiebung des Schlittens bei jeder Contraction, in Meter ausgedrückt;

Z Dauer einer Contraction in Secunden;

D Abstand des Schlittens vom distalen Ende der Schiene beim Beginn einer Contraction, in Centimeter ausgedrückt;

$A = P \cdot H$, die bei einer „Hebung“ geleistete Arbeit, in Kilogramm-Meter;

$Q = N \cdot A$, die während der Versuchsperiode geleistete Arbeit, in Kilogramm-Meter.

Es erübrigt noch, den Gang der Untersuchung, d. h. die Anordnung der Versuchsreihen anzugeben. Wenn es sich herausstellen würde, dass die CO_2 -Abgabe in einem einfachen Verhältniss zu der Zahl der ausgeführten Contractionen steht, so wäre die Möglichkeit gegeben, diejenige Grösse der CO_2 -Abgabe zu berechnen, welche einer einzigen Bewegung entspricht. Man könnte nachher die Werthe der CO_2 -Abgabe für verschiedene Bewegungen, mit variirender Belastung, Dauer und Anfangsstellung, ermitteln und diese Werthe mit einander zusammenstellen. Auf diese Weise würde der Einfluss der erwähnten Variablen auf den Energie-Umsatz bei der Muskelthätigkeit hervortreten. Es wurden also folgende Versuchsreihen ausgeführt:

1. Reihe 1—6 [Tab. 4]. Mai bis Juli 1898. Statische Arbeit. Belastung der Maschine 10, 20, 30^{kg}. Dauer (Z) 1 resp. 2 Sec. $D = 0^{\text{cm}}$.

2. Reihe 7—11 [Tab. 5 und 6]. Dec. 1898 bis Febr. 1899. Hebung. Belastung der Muskeln (P) 10·9, 21·7, 32·1^{kg}. $Z = 1$ Sec.; $H = 0\cdot5^{\text{m}}$; $D = 0^{\text{cm}}$.

3. Reihe 12—13 [Tab. 7]. Jan. 1899. Hebung. Belastung (P) 21·7, 32·1^{kg}. $Z = 0\cdot4$ Sec.; $H = 0\cdot2^{\text{m}}$; $D = 0^{\text{cm}}$.

4. Reihe 14—15 [Tab. 8]. Aug. 1899. Hebung. $P = 21\cdot7^{\text{kg}}$; Dauer (Z) 0·5, 1·4 Sec.; $H = 0\cdot2^{\text{m}}$; $D = 0^{\text{cm}}$.

5. Reihe 16—18 [Tab. 11]. Febr. bis März 1899. Senkung. Belastung der Maschine 10, 20, 30^{kg}. $Z = 1$ Sec.; $H = 0\cdot5^{\text{m}}$; $D = 50^{\text{cm}}$.

Das Körpergewicht der Versuchsperson war im Juni 1898 78^{kg}; Dec. 1898 bis April 1899 77^{kg}; Oct. 1899 bis Febr. 1900 78^{kg}.

V.

Wie schon erwähnt worden ist, war es die erste Aufgabe meiner Untersuchung, die Abhängigkeit der CO_2 -Abgabe von der Zahl der Contractionen zu ermitteln. A priori ist zwar wahrscheinlich, dass jene Grösse mit dieser proportional wächst. Für die ganze Untersuchung war es aber nothwendig, dieses Verhalten darzulegen. Es war nämlich möglich, dass jenes einfache Verhalten durch secundäre Wirkungen der Muskelthätigkeit, z. B. eine Einwirkung derselben auf die Herz- und Athembewegungen gestört wird. Weiter könnte man sich vorstellen, dass bei vermehrter Muskelthätigkeit andere chemische Processe innerhalb des Körpers mehr oder weniger an Intensität abnehmen und durch die Muskelthätigkeit zum Theil ersetzt werden. Schliesslich war es nothwendig darzulegen dass es der Versuchsperson wirklich möglich ist, die einzelnen Bewegungen mit solcher Präcision auszuführen, dass eine

Tabelle 4. Sta-
Dauer einer Versuchs-

Datum des Versuches	Dauer der Contractionen 1 Sec.				
	N	CO ₂ in 1/2 Stunde		Δ	
		beobacht.	berechn.		
Reihe 1.	Belastung 10 kg				
18. Juli 1898	180	11.9	11.74	+ 0.16	
19. "	180	11.7	11.74	- 0.04	$q = 10.75$
18. "	450	12.9	13.23	- 0.33	
19. "	450	13.4	13.23	+ 0.17	$p = 0.0055$
29. Juni	900	15.7	15.70	0.00	$r = \pm 0.14$
18. Juli	900	15.8	15.70	+ 0.10	$r_q = \pm 0.11$
					$r_p = \pm 0.0002$
Reihe 2.	Belastung 20 kg				
23. Juli 1898	90	12.2	12.5	- 0.3	
17. Juni	90	12.0	12.5	- 0.5	
20. "	90	12.7	12.5	+ 0.2	
16. "	180	13.0	13.3	- 0.3	
18. "	180	13.3	13.3	0.0	$q = 11.78$
17. "	300	15.4	14.3	+ 1.1	$p = 0.0083$
29. "	300	14.4	14.3	+ 0.1	
19. Juli	300	13.7	14.3	- 0.6	$r = \pm 0.40$
16. Juni	450	16.2	15.5	+ 0.7	$r_q = \pm 0.18$
18. "	450	16.4	15.5	+ 0.9	
21. Juli	450	15.5	15.5	0.0	$r_p = \pm 0.0004$
17. Juni	600	16.6	16.8	- 0.2	
15. Juli	600	16.0	16.8	- 0.8	
15. "	900	19.7	19.3	+ 0.4	
18. "	900	18.7	19.3	- 0.6	
Reihe 3.	Belastung 30 kg				
30. Juni 1898	90	14.0	13.7	+ 0.3	
16. Juli	90	13.0	13.7	- 0.7	
23. Juni	180	14.9	14.8	+ 0.1	$q = 12.68$
27. "	300	16.1	16.3	- 0.2	$p = 0.0119$
16. Juli	300	16.3	16.3	0.0	
22. Juni	450	18.2	18.0	+ 0.2	$r = \pm 0.37$
22. "	600	20.6	19.8	+ 0.8	$r_q = \pm 0.19$
16. Juli	600	20.1	19.8	+ 0.3	
21. Juni	900	22.8	23.4	- 0.6	$r_p = \pm 0.0004$
27. "	900	23.2	23.4	- 0.2	

tische Arbeit.
periode $\frac{1}{2}$ Stunde.

Datum des Versuches	Dauer der Contractionen 2 Sec.				
	N	CO ₂ in ½ Stunde		Δ	
		beobacht.	berechn.		
Reihe 4.	Belastung 10 kg				
3. Juni 1898	90	11.4	11.8	- 0.4	q = 11.24
10. "	90	12.0	11.8	+ 0.2	
23. Juli	90	12.0	11.8	+ 0.2	
8. Juni	300	13.5	13.0	+ 0.5	p = 0.0060
9. "	300	12.4	13.0	- 0.6	r = ± 0.33
28. Mai	450	13.5	13.9	- 0.4	
11. Juni	450	14.4	13.9	+ 0.5	
26. Mai	600	15.0	14.8	+ 0.2	r _q = ± 0.21
13. Juni	600	14.2	14.8	- 0.6	r _p = ± 0.0005
23. Juli	600	15.3	14.8	+ 0.5	
Reihe 5.	Belastung 20 kg				
3. Juni 1898	90	12.6	12.87	- 0.27	q = 11.95
14. Juli	90	13.8	12.87	+ 0.93	
15. "	90	11.8	12.87	- 1.07	
23. "	90	12.7	12.87	- 0.17	
11. Juni	180	14.1	13.71	+ 0.39	
14. Juli	180	13.1	13.71	- 0.61	p = 0.0097
31. Mai	300	15.9	14.91	+ 0.99	r = ± 0.42
8. Juni	300	15.1	14.91	+ 0.19	
13. "	300	15.1	14.91	+ 0.19	
27. Mai	450	16.3	16.37	- 0.07	r _q = ± 0.22
26. "	600	17.9	17.83	+ 0.07	r _p = ± 0.0007
17. Juni	600	17.3	17.83	- 0.53	
Reihe 6.	Belastung 30 kg				
4. Juni 1898	90	14.3	14.1	+ 0.2	q = 12.70
10. "	90	14.7	14.1	+ 0.6	
21. Juli	90	13.1	14.1	- 1.0	
7. Juni	180	14.8	15.4	- 0.6	
9. "	180	16.2	15.4	+ 0.8	
28. "	180	15.0	15.4	- 0.4	p = 0.0151
8. "	300	17.1	17.2	- 0.1	r = ± 0.52
18. "	300	18.8	17.2	+ 1.6	
16. Juli	300	16.7	17.2	- 0.5	
28. Mai	450	19.4	19.5	- 0.1	r _q = ± 0.30
9. Juni	450	18.8	19.5	- 0.7	r _p = ± 0.0009
28. "	600	22.0	21.8	+ 0.2	

Regelmässigkeit betreffs der CO_2 -Abgabe hervortreten kann. Vor allem muss man in jedem Falle berechnen können, ein wie grosser Theil der beobachteten CO_2 -Abgabe den mit der Maschine ausgeführten Muskelbewegungen entspricht.

Es fragt sich also, ob die Abhängigkeit der CO_2 -Abgabe $[\text{CO}_2]$ von der Zahl der Bewegungen durch die Formel

$$[\text{CO}_2] = pN + q$$

mit hinreichender Genauigkeit ausgedrückt werden kann, worin p die CO_2 -Menge, welche einer Bewegung entspricht, und q eine während der Versuchsperiode abgegebene CO_2 -Menge bezeichnet, welche von den mit der Maschine ausgeführten Bewegungen unabhängig ist. Die Werthe der Konstanten p und q , die wahrscheinlichen Fehler r_p und r_q jener Grössen und der wahrscheinliche Fehler r einer Beobachtung werden in üblicher Weise für jede Versuchsreihe berechnet.

Tabelle 4 enthält die Ergebnisse einiger Versuchsreihen, welche sich auf „statische Muskularbeit“ beziehen und welche im Sommer 1898 ausgeführt wurden. Die Vorrichtung zum Registriren der wirklichen Contractionsdauer war noch nicht fertig. Die angeführten Werthe sind die, welche von der Signalluhr angegeben wurden. Die wirklichen Werthe sind etwas kleiner.

In jener Tabelle werden theils die beobachteten $[\text{CO}_2]$ -Werthe, theils die nach der obigen Formel berechneten mitgetheilt. Die Differenzen Δ zwischen jenen Werthen liegen offenbar innerhalb der Grenze der Versuchsfehler. Das unterliegt also keinem Zweifel, dass die CO_2 -Abgabe mit der Zahl der Contraktionen proportional wächst.

Die Konstante q hat folgende Werthe in den einzelnen Versuchsreihen:

	Belastung		
	10 kg	20 kg	30 kg
Contractionsdauer 1 Sec.	10.75 ^s	11.78 ^s	12.68 ^s
„ 2 „	11.24	11.95	12.70

Die Grösse der Belastung hat offenbar die q -Werthe beeinflusst. Man hatte in allen Versuchsreihen denselben Werth der Konstante q erwartet, und zwar einen Werth, der mit der Grösse der CO_2 -Abgabe bei vollständiger Ruhe übereinstimmt.

Ich führe hier die Mittelwerthe der CO_2 -Abgabe in $\frac{1}{2}$ Stunde an, welche ich bei früheren Untersuchungen erhalten habe.

März—Mai 1895	{ 10.7 ^s	möglichst vollständige Ruhe, liegend		
	{ 11.6	„	„	sitzend
Oct.—Nov. 1896	{ 11.1	„	„	„
März—April, Oct.—Nov. 1897	{ 10.4	„	„	liegend
	{ 12.5	gewöhnliche Bettruhe		

Die q -Werthe sind offenbar derselben Grössenordnung wie die angeführten Ruhewerthe der CO_2 -Abgabe. Die Schwankungen der q -Werthe in den verschiedenen Versuchsreihen rühren wahrscheinlich daher, dass ich in den Pausen zwischen den einzelnen Contractionen nicht denselben Grad von Ruhe in allen Versuchsreihen beobachtet habe. Das Gefühl von Anstrengung hat wahrscheinlich bei den höheren Belastungen kleinere Extrabewegungen während der Pausen verursacht. Bei den späteren Versuchsreihen war ich mehr aufmerksam auf diese Fehlerquelle und bei diesen kommen nicht jene von der Belastung abhängigen Schwankungen der q -Werthe vor.

Die Constante p , die CO_2 -Abgabe für eine Contraction, beträgt bei den verschiedenen Versuchsreihen folgende Werthe:

Reihe	Belastung	Contractionsdauer	
		1 Sec.	2 Sec.
1, 4	10 kg	0.0055	0.0060
2, 5	20	0.0088	0.0097
3, 6	30	0.0119	0.0151

Wenn wir von den Reihen 1 und 4, d. h. den mit der Belastung 10 kg, absehen, wächst der Werth der Constante p proportional mit der Belastung.

Die Constante p bezeichnet die CO_2 -Abgabe für eine Contraction. Der Werth derselben entspricht also nicht nur dem Herstellen und Beibehalten des Contractionszustandes, welche Muskelthätigkeit von der Grösse der Belastung und der Dauer der Contraction abhängt, sondern auch einer Muskelthätigkeit, die von jenen Faktoren unabhängig ist. Bei diesen Versuchen befindet sich der Schlitten am Anfang jeder Bewegung am distalen Ende der Schiene T (Fig. 1), d. h. $D = 0$ (S. 288). Die Arme müssen daher etwas gestreckt und die Hände etwas gehoben werden, unmittelbar ehe die Versuchsperson die Griffe des Schlittens fasst. Ist die Belastung gering, so tritt der Einfluss dieser Muskelthätigkeit mehr hervor. Wir werden übrigens im Folgenden andere Fälle erwähnen, wo dieser Faktor zum Vorschein kommt.

Die angeführten Versuchsreihen sind nicht hinreichend um diejenigen Antheile der CO_2 -Abgabe zu berechnen, welche einerseits dem Herstellen, andererseits dem Beibehalten des Contractionszustandes entsprechen. Hierfür sind Versuchsreihen erforderlich, innerhalb welcher die Contractionsdauer in grösserer Umfassung variiert wird, als bei den obigen. Soviel ist aber aus den angeführten Reihen zu ersehen, dass dem Herstellen der Contraction eine verhältnissmässig grosse CO_2 -Abgabe entspricht. Vergleicht man die p -Werthe, welche einer Con-

tractionsdauer einerseits von 1 Sec., andererseits von 2 Sec. entsprechen so findet man einen Unterschied, welcher etwa 0.001^s für 10^{ks} beträgt (Reihe 2, 5 und 3, 6). Dieser Werth entspricht also dem Beibehalten der Contraction während 1 Sec., für 10^{ks} berechnet. Wird diejenige CO_2 -Abgabe, welche dem Beibehalten der Contraction von dem entsprechenden p -Werthe abgezogen, so findet man, dass eine CO_2 -Abgabe von etwa 0.003^s , für 10^{ks} berechnet, dem Herstellen der Contraction entspricht. Wenn man also die CO_2 -Abgabe bei verschiedenen Versuchen derselben Dauer und mit derselben Gesamtdauer der Contraktionen vergleicht, so findet man, immer eine grössere CO_2 -Abgabe, je grösser die Zahl der Contraktionen und also je kürzer die einzelnen Contraktionen gewesen sind. Um dieses Verhalten mit einem Beispiel zu beleuchten, wollen wir folgende Versuche zusammenstellen, bei welchen die Gesamtdauer der Contraktionen dieselbe ist, nämlich 900 Sec. Die Belastung beträgt 20^{ks} und die Versuchsdauer $\frac{1}{2}$ Stunde:

Zahl der Contraktionen (N)	900	450	22.5
Dauer jeder Contraction	1 Sec.	2 Sec.	40 Sec.
CO_2 -Abgabe	$\left\{ \begin{array}{l} 19.7^s \\ 18.7 \end{array} \right.$		
		16.3^s	13.5^s

Das subjective Gefühl von Anstrengung steht in keinem Zusammenhang mit der Grösse der CO_2 -Abgabe. Dieses Gefühl war nämlich bei dem Versuche mit der Contractionsdauer von 40 Sec. erheblich, bei den anderen Versuchen war eine Anstrengung gar nicht zu bemerken.

Die Versuchsreihen 7—15 beziehen sich auf „positive Muskelarbeit“. Diese Reihen sind nach demselben Plan wie die Reihen 1—6 angeordnet. Die Aufgabe war, zunächst die Grenzen zu ermitteln, innerhalb welcher die CO_2 -Abgabe mit der Zahl der Hebungen proportional wächst. Die Berechnung wurde auf dieselbe Weise ausgeführt und die Constanten p und q haben dieselbe Bedeutung wie bei den vorigen Versuchsreihen. Aus dem Werthe p wird die CO_2 -Abgabe für 1^{m-ks} äussere Arbeit, u , berechnet. Es ist demnach $u = \frac{p}{A}$.

Bei der Berechnung jener Constante wird es vorausgesetzt, dass innerhalb einer Reihe die Hebungen von derselben Höhe bei allen Versuchen sind. Kleine Abweichungen fanden sich aber vor, und man musste also die entsprechenden CO_2 -Werthe etwas corrigiren. Diese Correctionen, welche übrigens höchstens einige Zehntel Gramm CO_2 betragen, wurden folgendermaassen berechnet. Ein approximativer Werth der CO_2 -Abgabe für je 1^{m-ks} äusserer Arbeit wurde zuerst berechnet.

Man multiplicirt diesen Werth mit dem Unterschiede der thatsächlich ausgeführten Arbeit (in der Col. Q angegeben) und demjenigen Arbeitswerthe, welcher der fraglichen mittleren Höhe der Hebungen entspricht.

Bei einigen Versuchen wurden CO_2 -Werthe erhalten, welche in erheblicherem Grade von den übrigen unter denselben Verhältnissen erhaltenen Werthen oder von den nach der Formel $[\text{CO}_2] = pN + q$ berechneten abweichen. Diese Werthe sind in den Tabellen in Klammern gesetzt und wurden bei der Rechnung nicht mitgenommen. In einigen Fällen, z. B. Reihe 10: Vers. Jan. 31. und Reihe 11: Vers. Jan. 24.

Tabelle 5.

 Hebung; $H = 0.5 \text{ m}$; $D = 0 \text{ cm}$; $Z = 1.1 \text{ Sec.}$

Datum des Versuches	N	Q	CO ₂ g in 1/2 St.		A		
			beobacht.	berechnet			
Reihe 7.	P = 21.7 kg; A = 10.85 m-kg						
3. December 1898	60	655	15.6	16.0	-0.4	q = 12.44 p = 0.0594 r = ±0.69 r _q = ±0.33 r _p = ±0.0014 u = 0.0055	
10. "	60	655	16.7		+0.7		
19. "	60	655	14.9		-1.1		
20. "	60	655	15.9		-0.1		
7. "	120	1800	19.0	19.6	-0.6		
10. "	120	1800	21.6		+2.0		
2. "	182	1975	23.2		0.0		
7. "	180	1955	22.0		-1.2		
10. "	178	1955	23.8	23.2	+0.6		
20. "	182	1975	22.2		-1.0		
2. "	300	3245	31.8	30.2	+1.6		
3. "	300	3245	31.6	30.2	+1.4		
10. "	300	3255	29.6	30.3	-0.7		
20. "	300	3245	30.0	30.2	-0.2		
10. "	429	4675	37.5	37.9	-0.4		
19. "	440	4780	38.0	38.5	-0.5		
Reihe 8.	P = 32.1 kg; A = 16.05 m-kg						
12. December 1898	60	955	17.7	17.6	+0.1	q = 11.40 p = 0.1037 r = ±1.00 r _q = ±0.72 r _p = ±0.0039 u = 0.0065	
13. "	60	975	17.1	17.6	-0.5		
12. "	120	1930	23.0	23.8	-0.8		
13. "	120	1950	23.2	23.9	-0.7		
12. "	180	2885	30.7	30.0	+0.7		
13. "	180	2905	29.6	30.0	-0.4		
13. "	300	4770	40.8	42.0	-1.2		
19. "	300	4830	45.6	42.5	+3.1		
20. "	[498]	[7160]	[67.8]	57.2			

Tabelle 6.

Hebung; $H = 0.5$ m; $D = 0$ cm; $Z = 1.0$ Sec.

Datum des Versuches	N	Q kg-m	CO ₂ g in 1/2 St.		Δ	
			beobacht.	berechnet		
Reihe 9		P = 10.9 kg; A = 5.45 m-kg				
14. Dec. 1898	60	325	13.0	13.8	-0.8	q = 11.50 p = 0.0298 r = ± 0.56 r _q = ± 0.25 r _p = ± 0.0007 u = 0.0055
16. " 1898	60	325	13.7		+0.4	
30. Januar 1899	60	330	13.3		0.0	
14. Dec. 1898	181	990	15.8	16.9	-1.1	
16. " 1898	181	990	16.3		-0.6	
26. Januar 1899	181	990	16.9		0.0	
1. Febr. 1899	180	990	16.3	20.4	-0.6	
1. " 1899	181	995	16.8		-0.1	
14. Dec. 1898	302	1640	21.9		+1.5	
16. " 1898	300	1630	20.7	20.4	+0.3	
26. Januar 1899	296	1615	21.2	20.2	+1.0	
2. Febr. 1899	303	1650	20.1	20.4	-0.3	
2. " 1899	299	1625	20.4	20.3	+0.1	
16. Dec. 1898	446	2435	24.7	24.7	0.0	
26. Januar 1899	450	2425	26.3	24.8	+1.5	
26. " 1899	450	2415	24.5	24.8	-0.3	
1. Februar	619	3360	30.9	29.8	+1.1	
1. " 1899	636	3440	28.6	30.3	-1.7	
2. " 1899	619	3370	29.5	29.8	-0.3	
2. " 1899	619	3350	29.3	29.8	-0.5	
Reihe 10		P = 21.7 kg; A = 10.85 m-kg				
27. Januar 1899	60	655	15.0	15.2	-0.2	q = 11.72 p = 0.0573 r = ± 0.49 r _q = ± 0.21 r _p = ± 0.0006 u = 0.0053
27. " 1899	60	655	[16.8]		—	
28. " 1899	61	670	14.6		-0.6	
28. " 1899	60	655	15.3	22.1	+0.1	
30. " 1899	60	650	15.8		+0.6	
30. " 1899	60	650	14.1		-1.1	
27. " 1899	180	1955	22.9	22.1	+0.8	
27. " 1899	181	1965	[20.1]	—	—	
28. " 1899	182	1985	22.2	22.2	0.0	
28. " 1899	180	1965	22.6	22.1	+0.5	
5. " 1899	299	3300	29.6	29.1	+0.5	
5. " 1899	298	3305	28.6	29.0	-0.4	
5. " 1899	297	3280	29.2	29.0	+0.2	
27. " 1899	451	4890	37.8	37.6	+0.2	
27. " 1899	448	4850	37.2	37.4	-0.2	
30. " 1899	448	4875	38.4	37.5	+0.9	
30. " 1899	452	4895	36.8	37.6	-1.8	
31. " 1899	608	6585	[50.8]	—	—	
31. " 1899	585	6405	45.8	45.5	+0.3	
2. Februar	597	6550	47.2	46.3	+0.9	
2. " 1899	598	6500	44.7	46.0	-1.3	

Tabelle 6 (Fortsetzung).

 Hebung; $H = 0.5$ m; $D = 0$ cm; $Z = 1.0$ Sec.

Datum des Versuches	N	Q kg-m	CO ₂ g in 1/2 St.		Δ	
			beobacht.	berechnet		
Reihe 11		P = 32.1 kg; Δ = 16.05 m-kg				
23. Januar 1899	60	965	14.8	16.0	-1.2	
23. "	60	965	16.4	16.0	+0.4	
24. "	61	975	14.9	16.1	-1.2	
24. "	60	955	16.6	16.0	+0.6	
4. Februar	60	970	15.6	16.0	-0.4	
23. Januar	121	1955	20.8	21.5	-0.7	
23. "	120	1925	23.5	21.3	+2.2	
24. "	120	1910	21.7	21.2	+0.5	
24. "	121	1925	22.0	21.3	+0.7	
3. Februar	120	1940	22.1	21.4	+0.7	q = 10.61
3. "	121	1945	21.7	21.4	+0.3	p = 0.0894
23. Januar	181	2910	25.9	26.8	-0.9	r = ± 0.64
23. "	181	2910	26.2	26.8	-0.6	r _s = ± 0.29
25. "	181	2890	28.0	26.7	+1.3	r _p = ± 0.0016
25. "	181	2890	25.4	26.7	-1.3	u = 0.0056
3. Februar	181	2915	27.3	26.9	+0.4	
3. "	181	2895	25.7	26.7	-1.0	
24. Januar	302	4875	[42.7]	37.7	—	
24. "	300	4790	37.3	37.2	+0.1	
25. "	302	4785	35.8	37.2	-1.4	
25. "	300	4710	37.6	36.8	+0.8	
3. Februar	304	4845	37.9	37.6	+0.3	
3. "	302	4800	37.8	37.8	+0.5	
1. "	447	7040	[59.7]	50.1	—	
4. "	450	7180	[59.1]	50.9	—	

Tabelle 7.

 Hebung; $H = 0.2$ m; $D = 0$ cm.

Datum des Versuches	N	Q kg-m	CO ₂ g in $\frac{1}{2}$ St.		Δ	
			beobacht.	berechnet		
Reihe 12	$P = 21.7$ kg; $A = 4.34$ m-kg; $Z = 0.36$ Sec.					
9. Januar 1899	181	845	16.9	16.6	+0.3	
9. "	180	845	15.0	16.5	-1.5	
11. "	180	775	16.0	16.2	-0.2	
11. "	181	780	17.0	16.2	+0.8	$q = 11.76$
7. "	301	1315	18.0	19.2	-1.2	$p = 0.0244$
7. "	300	1320	19.7	19.2	+0.5	$r = \pm 0.57$
11. "	302	1275	20.3	18.9	+1.4	$r_s = \pm 0.81$
11. "	299	1275	19.2	18.9	+0.3	$r_p = \pm 0.0006$
9. "	596	2700	25.8	26.9	-1.1	$u = 0.0056$
9. "	602	2695	26.3	26.9	-0.6	
12. "	599	2530	26.3	26.0	+0.3	
12. "	602	2590	26.3	26.5	+0.3	
12. "	892	4055	34.7	34.5	+0.2	
12. "	903	3995	34.5	34.2	+0.3	

Tabelle 7 (Fortsetzung).

Datum des Versuches	N	Q	CO ₂ g in 1/2 St.		Δ	
			beobacht.	berechnet		
Reihe 13	P = 32.1; Δ = 6.42 m·kg; Z = 0.4 Sec.					
17. Januar 1899	60	395	15.0	14.4	+0.6	
17. "	60	395	14.7	14.4	+0.3	
20. "	60	385	13.8	14.3	-0.5	
20. "	60	385	13.8	14.3	-0.5	
10. "	181	1230	17.9	19.1	-1.2	
10. "	180	1210	19.4	19.0	+0.4	
13. "	180	1140	20.3	18.6	+1.7	
13. "	181	1140	19.8	18.6	+1.2	
19. "	181	1145	18.5	18.6	-0.1	
19. "	180	1130	20.4	18.5	+1.9	
10. "	300	1920	21.1	23.2	-2.1	
10. "	300	1940	23.4	23.3	+0.1	
13. "	302	1930	23.0	23.2	-0.2	q = 12.04
13. "	300	1885	21.1	23.0	-1.9	p = 0.0371
18. "	304	1935	21.3	23.3	-2.0	r = ±1.01
18. "	299	1870	23.3	22.9	+0.4	r _q = ±0.40
10. "	449	2930	32.4	28.9	+3.5	r _p = ±0.0010
10. "	449	3030	30.8	29.5	+1.3	u = 0.0058
17. "	445	2840	29.4	28.4	+1.0	
17. "	453	2835	26.9	28.7	-1.8	
18. "	448	2890	27.8	28.7	-0.9	
18. "	452	2855	25.7	28.5	-2.8	
14. "	598	3750	34.0	33.7	+0.3	
14. "	600	3810	35.8	34.1	+1.7	
16. "	598	3820	34.9	34.1	+0.8	
16. "	605	3860	32.6	34.3	-1.7	
19. "	601	3765	32.9	33.8	-0.9	
19. "	604	3790	35.3	34.0	+1.3	
14. "	389	5830	[52.8]	45.9		
16. "	369	5670	[47.7]	45.0		
20. "	383	5630	[49.4]	44.7		

Tabelle 8.

 Hebung; $P = 21.7 \text{ kg}$; $H = 0.2 \text{ m}$; $A = 4.34 \text{ m}\cdot\text{kg}$; $D = 0 \text{ cm}$.

Datum des Versuches	N	Q	CO ₂ g in 1/2 St.		Δ	
			beobacht.	berechnet		
Reihe 14		Z = 0.5 Sec.				
18. August 1899	60	265	13.5	12.7	+0.8	
18. "	60	265	12.6	12.7	-0.1	q = 11.21
22. "	808	1855	18.3	19.2	-0.9	p = 0.0256
22. "	808	1855	19.0	19.2	-0.2	r = ±0.44
18. "	595	2685	27.4	27.0	+0.4	r _q = ±0.28
18. "	595	2685	27.5	27.1	+0.4	r _p = ±0.0005
22. "	897	4195	35.1	35.8	-0.7	u = 0.0059
22. "	926	4255	36.6	36.1	+0.5	
Reihe 15		Z = 1.4 Sec.				
17. August 1899	60	265	13.2	13.1	+0.1	
17. "	60	265	12.8	13.1	-0.3	
19. "	182	815	18.3	16.9	+1.4	q = 11.32
19. "	182	815	17.4	16.9	+0.5	p = 0.0300
21. "	181	820	16.2	17.0	-0.8	r = ±0.59
21. "	181	820	16.1	17.0	-0.9	r _q = ±0.37
17. "	296	1315	21.6	20.4	+1.2	r _p = ±0.0013
17. "	296	1315	19.7	20.4	-0.7	u = 0.0069
19. "	452	2010	25.9	25.1	+0.8	
21. "	452	2010	25.2	25.1	+0.1	
21. "	452	2010	24.4	25.1	-0.7	

war die Versuchsperson noch nicht an die ziemlich grosse Anstrengung gewöhnt. In anderen Fällen, Reihe 10: Vers. Jan. 27. kann ich keine Ursache der Abweichung angeben, finde mich aber dennoch berechtigt, diese Werthe auszuschliessen. Diejenigen Abweichungen des beobachteten von dem berechneten CO₂-Werthe, welche wir in Reihe 8: Vers. Dec. 20., Reihe 11: Vers. Febr. 1. und 4., Reihe 13: Vers. Jan. 14., 16., 20. finden, rühren offenbar daher, dass bei diesem grossen Arbeitswerthe die CO₂-Abgabe schneller als proportional mit der Zahl der Contractionen wächst.

Bei diesen Versuchen hat man also diejenige Grenze überschritten, innerhalb welcher die Formel $[\text{CO}_2] = Np + q$ anwendbar ist. Diese Grenze wird nicht allein durch die Grösse der Arbeitsleistung bestimmt. Offenbar wird dieselbe früher erreicht bei höheren Belastungen. Mit der Belastung 10.9 ^{kg} kann jene Grenze überhaupt nicht erreicht werden.

Mit der Belastung 21.7^{kg} hat die Versuchsperson eine äussere Arbeit von 6500^{m·kg} in $\frac{1}{2}$ Stunde oder sogar 13000^{m·kg} — die 2 Versuche am 2. Februar, Reihe 10, wurden nämlich unmittelbar nacheinander ohne Aufenthalt ausgeführt — in 1 Stunde geleistet, ohne dass jene Steigerung der CO₂-Abgabe zum Vorschein kommt. Mit der Belastung 32.1^{kg} ist jene Grenze bei 5700^{m·kg} in $\frac{1}{2}$ Stunde schon erreicht (Reihe 13: Vers. Jan. 14., 16., 20.). In diesem Falle beträgt der Unterschied zwischen dem beobachteten und dem berechneten Werthe der CO₂-Abgabe in $\frac{1}{2}$ Stunde etwa 5^g. Bei einer Arbeitsleistung von 7100^{m·kg} in $\frac{1}{2}$ Stunde (Reihe 11: Febr. 1., 4.) beträgt derselbe 9^g. Tab. 9 enthält eine Uebersicht über die Werthe α der CO₂-Abgabe für 1^{m·kg} äussere Arbeit bei verschiedenen Arbeitsleistungen.

Tabelle 9.

Reihe	Belastung	Arbeit in $\frac{1}{2}$ Stunde	CO ₂ -Abgabe für 1 m·kg äusserer Arbeit
12	21.7 kg	800—4000 m·kg	0.0056 g
10	21.7	650—6500	0.0053
13	32.1	400—4000	0.0058
11	32.1	950—4800	0.0056
13 ¹	32.1	5700	0.0067 ²
11 ²	32.1	7100	0.0067 ²

Bei den grossen Arbeitsleistungen ist die Schweissabsonderung äusserst reichlich. Dieselbe fängt schon nach 4 bis 5 Minuten an. Dazu kommt ein Oppressionsgefühl, welches die Vorstellung erweckt, dass die Anstrengung überwältigend ist. Bei dem ersten Versuche (Reihe 8: Vers. Dec. 20) konnte ich nicht mehr als 5 Minuten aushalten. Bei den späteren Versuchen fand ich, dass wenn man nur jene Vorstellung unterdrückt und ruhig die Arbeit fortsetzt, das erwähnte Gefühl verschwindet, besonders nachdem die Schweissabsonderung in Gang gekommen war.

Als Ursache jener erheblichen Steigerung der CO₂-Abgabe bei den grösseren Arbeitsleistungen kommt zunächst in Betracht die Schwierigkeit, die Bewegungen ruhig und ohne Mitbewegungen auszuführen. Es kam mir aber vor, als ob ich gerade bei diesen Versuchen mit der

¹ Mittel aus den Vers. Jan. 14. 16. 20.

² Mittel aus den Vers. Febr. 1. 4.

³ Bei der Berechnung ist 11.67^g als der Werth der CO₂-Abgabe in $\frac{1}{2}$ Stunde in Ruhe angenommen worden (S. 306).

grössten Präcision arbeitete. Die Pausen waren so kurz, dass es keine Zeit war für Extrabewegungen, und die Bezwingung des oben erwähnten Oppressionsgefühls führte gerade das herbei, dass die Bewegungen ruhig ohne jede unnöthige Muskelspannung ausgeführt wurden. Die Steigerung scheint mir zu gross zu sein, um durch Extrabewegungen erklärt zu werden. Die Pulsfrequenz am Ende der betreffenden Versuche war nicht übermässig:

Vers. 14. Jan.	75 in 1 Minute
„ 16. „	73 „
„ 20. „	76 „
„ 1. Febr.	82 „
„ 4. „	78 „

Die Athmung war ruhig und keineswegs beschwert. Natürlicherweise waren die Herz- und Athemthätigkeit kräftiger bei diesen Versuchen als bei anderen, obschon die Vermehrung nicht subjectiv zu erkennen war, nachdem das Oppressionsgefühl im Beginn der Versuche vorüber war. Wenn man die fragliche Steigerung der CO_2 -Abgabe bei grösseren Arbeitsleistungen durch die Vermehrung der Herz- und Athemthätigkeit erklären will, so muss man annehmen, dass diese Bewegungen bis eine gewisse Grenze proportionell mit der übrigen Muskelthätigkeit an Intensität und Frequenz zunehmen, dann aber eine excessive Steigerung erfahren. Es scheint zwar etwas sonderbar, dass eine solche Steigerung nicht subjectiv bemerkbar wird, und man wäre vielleicht geneigt, die fragliche Steigerung der CO_2 -Abgabe in Zusammenhang mit besonderen chemischen Processen innerhalb des Körpers zu stellen, welche eingeleitet werden, wenn das Blut bis zu einem gewissen Grade mit Spaltungsprodukten aus den Muskeln bereichert wird. Zur Zeit kennen wir aber zu wenig von solchen Processen, um über diese Frage etwas mehr als Vermuthungen auszusprechen.

Wenn wir von den erörterten Abweichungen absehen, liegen die Unterschiede zwischen den beobachteten und den berechneten CO_2 -Werthen innerhalb der Fehlergrenzen und es lässt sich also die CO_2 -Abgabe bei positiver Muskelarbeit nach der Formel $[\text{CO}_2] = pN + q$ innerhalb der oben angegebenen Grenzen berechnen.

Die Reihen 7 und 8 wurden im December 1898 ausgeführt. Die Reihen 10 und 11, welche mit denselben Belastungen, derselben Höhe und Dauer der Contractionen 1 Monat später ausgeführt wurden, weichen nicht unbedeutend von jenen ab, und zwar ist der Unterschied am grössten zwischen den Reihen 8 und 11, welche mit der grössten

Belastung 32.1^{kg} ausgeführt sind. Die erste Reihe giebt 0.0065^s und die zweite 0.0056^s als den Wert der CO₂-Abgabe für 1^{m-k} äusserer Arbeit. Der wahrscheinliche Fehler einer Beobachtung hat in den später ausgeführten Reihen nicht unbedeutend abgenommen. Die Versuchsperson hat aller Wahrscheinlichkeit nach allmählich eine grössere Uebung erworben, die Bewegungen gleichmässig und ruhig auszuführen und Extrabewegungen zu vermeiden. Offenbar spielt die Uebung eine grössere Rolle bei den grösseren Belastungen. Die Reihe 9, mit der Belastung 10.9^{kg}, enthält Versuche, welche während December, Januar und Februar ausgeführt wurden. Die Abweichungen sind aber nicht grösser, als dass sämtliche Versuche in eine Reihe zusammen genommen werden können.

Die Werthe der Konstante q bei den verschiedenen Reihen wollen wir weiter unten besprechen.

Aus dem Werthe der Konstante p wird, wie schon erwähnt, die CO₂-Abgabe für 1^{m-k} äussere Arbeit u berechnet. Tab. 10 enthält diesen Werth für die einzelnen Reihen.

Tabelle 10.

Reihe	Z	H	Belastung [P]		
			10.9 kg	21.7 kg	32.1 kg
7. 8.	1.1 Sec.	0.5 ^m	— ^s	0.0055 ^s	0.0065 ^s
9. 10. 11.	1.0	0.5	0.0055	0.0053	0.0056
12. 13.	0.4	0.2	—	0.0056	0.0058
14.	0.5	0.2	—	0.0059	—
15.	1.4	0.2	—	0.0069	—

Wie aus den Reihen 9, 10, 11 hervorgeht, ist der Werth u nur im geringen Grade von der Belastung abhängig. Zwar beträgt u einen höheren Werth bei den Reihen 11 und 13 mit der Belastung 32.1^{kg} als bei den Reihen 10 und 12 mit der Belastung 21.7^{kg}. Der kleine Unterschied kann leicht dadurch erklärt werden, dass es bei den höheren Belastungen für die Versuchsperson schwieriger ist, die Bewegungen ruhig und ohne Mitbewegungen auszuführen, als bei den mässigen. Wie eben erwähnt wurde, tritt der Einfluss der Uebung mehr hervor bei den grösseren Belastungen. Man vergleiche die Reihen 8 und 11 mit den Reihen 7 und 10.

Bei der Reihe 9 beträgt u einen etwas höheren Werth als bei der Reihe 10. In jenem Falle ist die Belastung niedriger als in diesem. Wir haben schon oben (S. 293) denjenigen Faktor erwähnt, dessen Einfluss hier aller Wahrscheinlichkeit nach zum Vorschein kommt, nämlich die Muskelthätigkeit bei der Streckung der Arme und

Hebung der Hände unmittelbar vor der eigentlichen Hebung des Gewichtes.

Die Vergleichung der Reihen 10 und 11 mit den Reihen 12 und 13 lässt den Einfluss verschiedener Höhe der Hebungen hervortreten. Bei den Reihen 12 und 13 beträgt u einen etwas höheren Werth als bei den Reihen 10 und 11, was auch zu erwarten war.

Je kleiner die Höhe der Hebungen ist, desto grössere Zahl derselben ist erforderlich, um eine gewisse äussere Arbeit zu leisten. Jedesmal aber, wo die Muskeln aus Ruhe in Contractionszustand übergehen, findet eine nicht unbeträchtliche CO_2 -Abgabe statt, wie oben S. 294 erwiesen worden ist — eine CO_2 -Abgabe, der keine äussere Arbeit entspricht.

Die Dauer der Contraktionen, d. h. die Geschwindigkeit mit welcher die Hebungen ausgeführt werden, hat einen sehr grossen Einfluss auf das Verhältniss zwischen der CO_2 -Abgabe und der geleisteten Arbeit. Bei der Reihe 14, mit einer Contractionsdauer von 0.5 Sec., beträgt die CO_2 -Abgabe für 1 mk_s 0.0059g; bei der Reihe 15, wo dieselbe Hebung 1.4 Sec. dauert, erreicht jene Grösse den Werth 0.0069g.

Die Tabelle 11 enthält einige Versuchsreihen mit „negativer Muskelarbeit“. Ich werde später die Ergebnisse dieser Reihen eingehender erörtern in Zusammenhang mit Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Contractionsdauer auf die CO_2 -Abgabe. Hier will ich nur hervorheben, dass auch bei dieser Art von Muskelthätigkeit die CO_2 -Abgabe proportional mit der Zahl der Bewegungen wächst.

In Tabelle 12 sind die q -Werthe der Versuchsreihen 7—12 zusammengestellt worden. Diese Werthe schwanken innerhalb derselben Grenzen wie die Mittelwerthe, welche bei den verschiedenen Versuchsreihen betreffs der CO_2 -Abgabe bei Körperruhe erhalten wurden und welche schon oben S. 292 angeführt worden sind.

Denjenigen Einfluss der Belastung, welche bei den Versuchsreihen 1—6, S. 292 so deutlich war, kommt bei diesen Reihen nicht zum Vorschein.

Aus den in Tabelle 12 angeführten q -Werthe habe ich ein Mittel 11.67 berechnet, wobei den einzelnen Werthen ein verschiedenes Gewicht ertheilt wurde, je nach der Zahl der in den betreffenden Reihen enthaltenen Einzelversuche. Der zu befürchtende Fehler jenes Mittels beträgt ± 0.03 .

Unter der Voraussetzung, dass die Versuchsperson — ich selbst — bei Arbeit mit der oben beschriebenen Maschine möglichst vollständig Extrabewegungen vermeidet, beträgt also

Tabelle 11. Senkung.

Datum des Versuches	N	CO ₂ g in 1/2 Stunde		d	
		beobach.	berechnet		
Reihe 16.	P = 9.8 kg; H = 0.504 m; D = 50.4 cm; Z = 1.0 Sec.				
8. Febr. 1899	60	13.8	12.4	+ 1.4	q = 11.65 p = 0.0130 r = ± 0.68 r _q = ± 0.27 r _p = ± 0.0010
8. "	60	11.5		- 0.9	
8. "	60	11.5		- 0.9	
22. "	61	12.8		- 0.1	
22. "	58	11.6		- 0.8	
22. "	61	14.5	14.0	+ 2.1	
18. "	180	13.8		- 0.7	
18. "	182	14.4		+ 0.4	
21. "	182	15.0		+ 1.0	
21. "	180	12.5		- 1.5	
21. "	182	14.7		+ 0.7	
10. "	302	15.9		+ 0.4	
10. "	306	15.5		0.0	
20. "	305	14.2		- 1.3	
20. "	300	15.0		- 0.5	
20. "	308	15.7		+ 0.2	
9. "	448	17.6	17.5	+ 0.1	
11. "	485	17.8	17.4	- 0.1	
11. "	441	17.6	17.4	+ 0.2	
11. "	441	18.1	17.4	+ 0.7	
Reihe 17.	P = 18.9 kg; H = 0.5 m; D = 50 cm; Z = 1.0 Sec.				
7. Febr. 1899	60	18.5	18.0	+ 0.5	q = 11.80 p = 0.0196 r = ± 0.64 r _q = ± 0.28 r _p = ± 0.0011
7. "	60	12.6		- 0.4	
7. "	60	13.7		+ 0.7	
16. "	60	12.1		- 0.9	
16. "	60	13.0		0.0	
16. "	60	13.4	15.3	+ 0.4	
7. "	181	14.8		- 0.5	
7. "	181	16.1		+ 0.8	
7. "	181	14.5		- 0.8	
13. "	180	15.0		- 0.3	
13. "	182	16.1	17.7	+ 0.8	
13. "	180	15.3		0.0	
14. "	299	17.6		- 0.1	
14. "	301	16.6		- 1.1	
18. "	308	18.2		+ 0.5	
18. "	301	16.8	19.5	- 1.4	
18. "	301	18.5		+ 0.8	
14. "	393	20.6		+ 1.1	
14. "	402	20.8		+ 1.2	
16. "	384	16.8	19.3	- 2.5	
16. "	395	20.4	19.5	+ 0.9	
16. "	378	19.5	19.2	+ 0.3	

Tabelle 11 (Fortsetzung).

Datum des Versuches	N	CO ₂ g in 1/2 Stunde		Δ		
		beobach.	berechnet			
Reihe 18. $P = 28.5 \text{ kg}; H = 0.5 \text{ m}; D = 50 \text{ cm}; Z = 1.0 \text{ Sec.}$						
25. Febr. 1899	60	14.1	14.2	- 0.1	$q = 12.08$ $p = 0.0858$ $r = 0.62$ $r_q = \pm 0.27$ $r_p = \pm 0.0010$	
25. "	60	14.4		+ 0.2		
25. "	60	14.7		+ 0.5		
8. März	61	14.5		+ 0.3		
8. "	60	13.5		- 0.7		
8. "	61	14.4		+ 0.2		
27. Febr.	179	19.8	18.4	+ 1.4		
27. "	182	17.1	18.5	- 1.4		
27. "	177	19.8	18.3	+ 1.5		
6. März	180	18.2	18.4	- 0.2		
6. "	181	19.0	18.4	+ 0.6		
6. "	180	17.8	18.4	- 0.6		
3. "	300	23.0	22.7	+ 0.3		
3. "	298	23.8	22.7	+ 1.1		
3. "	304	21.2	22.8	- 1.6		
8. "	300	22.0	22.7	- 0.7		
8. "	302	21.5	22.7	- 1.2		
6. "	297	21.3	22.6	- 1.3		
6. "	303	21.7	22.8	- 1.1		
1. "	397	26.6	26.1	+ 0.5		
1. "	401	26.8	26.2	+ 0.6		
1. "	409	27.3	26.5	+ 0.8		
4. "	403	27.3	26.3	+ 1.0		
4. "	402	25.7	26.2	- 0.5		

derjenige Antheil der CO₂-Abgabe, welche von der mit der Maschine ausgeführten Muskelarbeit unabhängig ist, 11.67% in 1/2 Stunde oder 23.34% in 1 Stunde.

Die Ergebnisse der angeführten Versuchsreihen können wir folgendermassen zusammenfassen:

Die Versuchsperson hat in verschiedenen Versuchsperioden derselben Dauer eine Reihe möglichst gleichförmiger Muskelbewegungen ausgeführt und sich dabei bemüht, alle Extrabewegungen zu vermeiden. Unter diesen Verhältnissen

1. wächst die CO₂-Abgabe proportional mit der Zahl der Bewegungen und lässt sich also mit hinreichender Genauigkeit durch die Formel $[CO_2] = Np + q$ ausdrücken.

Tabelle 12.

Reihe	Belastung	Arbeitsart	Anzahl der Versuche in der Reihe	q
9.	10.9 ^{kg}	Hebung	20	11.50 ^s
16.	9.3	Senkung	20	11.65
10.	21.7	Hebung	18	11.72
7.	21.7	"	16	12.44
12.	21.7	"	14	11.76
14.	21.7	"	8	11.21
15.	21.7	"	11	11.82
17.	18.9	Senkung	22	11.80
8.	32.1	Hebung	8	11.40
11.	32.1	"	22	10.61
13.	32.1	"	28	12.04
18.	28.5	Senkung	24	12.08

Mittel: 11.67

2. Derjenige Antheil der CO_2 -Abgabe, welche mit den ausgeführten Muskelbewegungen nicht im Zusammenhang steht — die Konstante q in der obigen Formel — beträgt denselben Werth, wie die CO_2 -Abgabe bei möglichst vollständiger Muskelruhe in sitzender Stellung. Für die betreffende Versuchsperson — 37 Jahre, 78 ^{kg} Körpergewicht — hat sich als Mittelwerth jener Grösse 11.67 ^s CO_2 in $\frac{1}{2}$ Stunde ergeben.

3. Bei „positiver Muskularbeit“, Hebung eines Gewichtes, wächst die CO_2 -Abgabe proportional mit der während der Versuchsperiode geleisteten äusseren Arbeit. Für die betreffende Versuchsperson beträgt die CO_2 -Abgabe 0.0053—0.0058 ^s für 1 ^{m·kg}. Wenn die Arbeitsleistung eine gewisse Grenze übersteigt, welche von der Grösse der Belastung abhängig ist, wächst die CO_2 -Abgabe noch schneller. Die betreffende Versuchsperson kann 6500 ^{m·kg} in $\frac{1}{2}$ Stunde leisten mit 20 ^{kg} Belastung, ohne jede Grenze zu überschreiten. Mit der Belastung 30 ^{kg} wird jene Grenze bei etwa 5000 ^{m·kg} in $\frac{1}{2}$ Stunde erreicht. Wenn die erwähnte Grenze der Arbeitsleistung nicht überschritten wird, ist die CO_2 -Abgabe für 1 ^{m·kg} äussere Arbeit von der Belastung und dem Umfang der einzelnen Contractionen nur sehr wenig abhängig, steigt aber beträchtlich mit der Dauer der Contractionen.

4. Bei „statischer Muskularbeit“, Halten eines Gewichtes, wächst die CO_2 -Abgabe proportional mit der Belastung. Sowohl dem Herstellen der Contraction als dem Beibehalten des Contractions-

zustandes entspricht eine gewisse CO_2 -Abgabe. Die CO_2 -Abgabe während einer Versuchsperiode mit statischer Arbeit wächst sowohl mit der Zahl der Contractionen als mit der Gesamtdauer derselben.

5. Das Gefühl von Anstrengung ist hauptsächlich von der Dauer der Contractionen und der Grösse der Belastung abhängig, steht aber nicht mit der Grösse der CO_2 -Abgabe in Zusammenhang.

Zur Kenntniss des Stoffwechsels beim erwachsenen Menschen, mit besonderer Berücksichtigung des Eiweissbedarfs.¹

Von

Dr. V. O. Sívén
in Helsingfors (Finnland).

(Aus dem physiologischen Laboratorium des Carolinischen medico-chirurgischen Instituts in Stockholm.)

In einem früheren Versuche² habe ich gezeigt, dass der erwachsene menschliche Organismus mit äusserst wenig, 4 bis 5%, N in der Nahrung bei einer absoluten Calorienzufuhr von etwa 40 pro Kilogramm Körpergewicht N-Gleichgewicht erlangen kann.

Bekanntlich hatte man sich vorgestellt, dass ein niedriges N-Gleichgewicht nur dadurch zu erreichen sei, dass die N-freien Nahrungstoffe bedeutend vermehrt wurden oder — mit anderen Worten — dadurch, dass die Calorienzufuhr stark über den normalen Bedarf gesteigert wurde. Nach dieser Anschauungsweise übte das Eiweiss, wenigstens in gewissem Grade, eine sparende Wirkung auf die N-freien Nährstoffe der Kost aus.

Mein Versuch zeigte jedoch, dass ein besonders niedriges N-Gleichgewicht zu erreichen ist, ohne dass die N-freien Nährstoffe in der Nahrung vermehrt werden.

Da nun aber das Körpergewicht in meinem Versuche mit besonders niedriger N-Zufuhr recht stark abnahm — 800 g in vier Tagen³ — so erfordert dieser Umstand eine besondere Beachtung. Wie schon

¹ Der Redaction am 22. October 1900 zugegangen.

² Sívén, Ueber das Stickstoffgleichgewicht beim erwachsenen Menschen. *Dies Archiv.* 1899. Bd. X. S. 91.

³ Vgl. Serie V des früheren Versuches. *Dies Archiv.* Bd. X. S. 116.

früher hervorgehoben,¹ konnte dieses darauf beruhen, dass der Bedarf an Calorien beim niedrigen N-Gleichgewicht grösser war als die Energiemenge, welche dem Körper mit der Nahrung zugeführt wurde, weshalb dieser genöthigt war, auch von seinem eigenen Fette zu verbrennen. Der wirkliche Energiebedarf beim niedrigen N-Gleichgewicht hätte also thatsächlich grösser sein können, als 40 Calorien pro Kilogramm des Körpergewichts.

Um zu entscheiden, wie es sich hiermit eigentlich verhält, muss man den Gesamtstoffwechsel bei niedrigem N-Gleichgewicht bestimmen.

Als sich hierzu Gelegenheit bot, unternahm ich es, meine früheren Untersuchungen in diesem Punkte zu vervollständigen. — Dieses war der Hauptzweck der folgenden Versuche.

Zugleich aber versuchte ich das Accomodationsvermögen des menschlichen Organismus an verschiedene Eiweissmengen in der Kost näher zu studiren.

Da in früheren Versuchen das niedrige N-Gleichgewicht durch allmähliche Verminderung der N-Menge in der Kost erreicht wurde, so fragt sich, ob man nicht bei plötzlicher Herabsetzung des N in der Kost zu demselben Resultate gelangen könnte.

Bekanntlich stellt sich der menschliche Organismus bei kleineren Veränderungen der N-Zufuhr am 3. oder 4. Tage ins Gleichgewicht. Ob es sich bei grossen Schwankungen des N-Gehaltes in der Nahrung ebenso verhält, ist noch gänzlich unbekannt.

Während ich in diesem Versuche in erster Linie die N-Bilanz studiren wollte, beschloss ich, parallel hiermit, auch den Schwefel- und Phosphorumsatz im Organismus² zu verfolgen.

Schliesslich sei erwähnt, dass gleichzeitig der Harn auf Harnsäure analysirt wurde, und dass ich zweimal täglich die Anzahl der Leucocyten im Blute zählte. Das Resultat dieser Untersuchung über das

¹ l. c. S. 143.

² Es war ausserdem meine Absicht, auch die Kalk- und Eisenbilanz zu untersuchen. Eine solche Untersuchung des Umsatzes aller der wichtigsten Elemente auf ein Mal scheint mir von grossem Interesse und um so mehr geboten zu sein, als derartige Untersuchungen gänzlich fehlen. — Die Aufstellung einer wirklichen Gesamtbilanz aller Einnahmen und Ausgaben des Organismus würde sicher unsere Kenntniss der vitalen Prozesse, die im menschlichen Organismus vor sich gehen, in vieler Hinsicht erweitern. — Zahlreiche CaO- und Fe₂O₃-Analysen wurden auch von mir ausgeführt; doch sehe ich mich genöthigt, diese Untersuchungen fortzulassen, da sie weitere Versuche erfordern, ehe sich zuverlässige Schlüsse aus ihnen ziehen lassen.

Verhältniss der Harnsäure zu den Leukocyten unter normalen Verhältnissen ist schon veröffentlicht worden.¹

Versuchsordnung.

Der Plan des Versuches war folgender. Einige Tage lang wurde bei gewöhnlicher Kost die N- (und P-) Menge im Harne bestimmt; hierauf wird die N-Menge in der Kost plötzlich so tief als möglich herabgesetzt. Wenn N-Gleichgewicht eintritt, wird der Gesamtstoffwechsel bestimmt.

Hierauf wird die Eiweissmenge in der Kost so schnell als möglich vermehrt und der Versuch fortgesetzt, bis wieder N-Gleichgewicht eintritt. Während des ganzen Versuches muss die Calorienzufuhr so gross sein, dass keine Verminderung und auch keine Vermehrung des Körpergewichtes eintritt.

Es glückte mir jedoch nicht, den Versuch genau auf diese Weise durchzuführen, und ich sah mich genöthigt, in gewisser Hinsicht vom ursprünglichen Plane abzuweichen.

Als Versuchsperson diente Verfasser selbst. Er ist 31.5 Jahre alt, völlig gesund und wiegt 65.2 kg (am 1. November 1899).² Der Versuchstag wurde von 8^h Vm. des einen Tages bis zu derselben Zeit des folgenden Tages gerechnet. Die Mahlzeiten wurden im Laboratorium eingenommen und die Kost unter eigener Aufsicht zubereitet. Ich stand kurz vor 8^h Vm. auf und ging um 10^h Abds. zu Bett. Während des Tages war ich etwa 11 Stunden mit gewöhnlicher Laboratoriumsarbeit beschäftigt. Während der ganzen Dauer des Versuches versuchte ich eine möglichst regelmässige Lebensweise einzuhalten.

Der Harn wurde sorgfältig gesammelt, mit Chloroform versetzt und gut gemischt, ehe die Proben zu den Analysen genommen wurden. Die Fäces wurden direct in eine Porzellanschale abgesetzt und gewogen. Von der täglichen Menge wurde $\frac{1}{6}$ mit H_2SO_4 angesäuert und im Wasserbade so trocken abgedunstet, dass die Fäces sich mit Leichtigkeit pulverisiren liessen. Der Rest ($\frac{5}{6}$) wurde ohne vorhergehende Ansäuerung abgedunstet; in dieser Portion wurde die Schwefelmenge bestimmt. — Wie in dem vorigen Versuche wurden auch jetzt keine täglichen Fäcesanalysen gemacht, sondern die Fäces für mehrere Tage gesammelt (s. unten die Tab. S. 316) und dann die N-Menge u. s. w. gleichmässig auf die verschiedenen Tage vertheilt. Eine Abgrenzung der Fäces fand nicht statt.

¹ Bidrag till k  nedom om urinsyrebildningen inom den m  nskliga organismen under fysiologiska f  rh  llanden. *Finska L  kares  llskapets Handlingar*. 1900. Bd. XLII. S. 887, und *dies Archiv*. 1900. Bd. XI. S. 128.

² Das Körpergewicht während des vorigen Versuches betrug am 21. Oct. 1898 60.7 kg.

— Die Defécation ging äusserst regelmässig, gewöhnlich um 9 bis 10^h Vm., vor sich.

Herr E. Rost, welcher meinen vorhergehenden Versuch referirte¹, bemerkt, dass die N-Menge in den Fäces „leider nicht jeden Tag bestimmt wurde“. Diese Bemerkung scheint mir unberechtigt. Herr Rost scheint anzunehmen, dass man durch tägliche N-Bestimmungen in den Fäces sicherere Werthe erhalten könnte.

Theoretisch ist ja diese Annahme auch richtig, vorausgesetzt, dass es mir täglich glückte, die Fäces gut abzugrenzen. Ohne Abgrenzung jeden Tag Fäcesanalysen zu machen, ist dagegen unnöthige Mühe. Es ist dies von mehreren Forschern (Kumagawa,² Rosemann)³ versucht worden, aber sie haben später bei der Berechnung doch eine Mittelzahl der täglichen N-Menge in den Fäces angewandt und nur auf diese Weise sichere Werthe erhalten. 5 bis 6 Wochen täglich die Fäces abzugrenzen, dürfte praktisch unmöglich sein.

Die N-Analysen wurden nach Kjeldahl ausgeführt. Der Phosphor im Harn wurde auf die gewöhnliche Art durch Tritriren mit Uranacetat⁴ bestimmt. In der Kost und den Fäces wurde der P gewichtsanalytisch durch Füllen mit Ammoniummolybdat bestimmt. Verbrennung der Substanz geschah nach einer von Neumann angegebenen Methode, welche sich zweckentsprechend und bequem erwies.⁵

Die Schwefelanalysen wurden nach den üblichen Methoden durch Schmelzen mit Soda und Salpeter, und Füllen mit Bariumchlorid ausgeführt; der oxydirte Schwefel im Harn wurde auf gewöhnliche Weise durch Digeriren mit HCl auf dem Wasserbade und Füllen mit BaCl₂ bestimmt.

Das Fett wurde nach Soxhlet bestimmt durch Aetherextraction während etwa 48 Stunden, die Wassermenge und Asche auf gewöhnliche Weise; der Rest nach Bestimmung des Fettes, Eiweisses, H₂O und der Asche wurde als Kohlehydrate berechnet.

In Bezug auf die Kost wurden in diesem Versuche dieselben Vorichtsmaassregeln beobachtet wie im vorigen.

So wurden die verschiedenen Nahrungsmittel im Allgemeinen in so grossen Mengen eingekauft, dass sie für die ganze Versuchszeit ausreichten; dieses geschah mit Kartoffeln, Aepfeln, Brod und Bier. Käse, Eier und Butter wurden zu verschiedenen Malen während des Versuches eingekauft, aber, so weit möglich, stets dieselbe Sorte dieser Stoffe. Milch wurde die ganze Zeit über von derselben Stelle genommen.

Die Kartoffeln wurden in Form von Purée verzehrt (zusammen mit Butter).

¹ *Fortschritte der Medicin.* 1900. Bd. XVIII. S. 108.

² *Virchow's Archiv.* Bd. CXVI. S. 370.

³ *Pflüger's Archiv.* 1898. Bd. LXXII. S. 472.

⁴ Huppert, *Anleitung zur qualit. u. quantit. Analyse des Harns.* 1898. S. 731.

⁵ *Archiv f. Anat. u. Physiol.* Physiol. Abth. 1897. S. 532.

Das Brod bestand aus hartem Roggenbrod, sog. „svenskt spisbröd“ und wurde an einem trockenen Orte aufbewahrt.

Die Aepfel wurden als Compote zusammen mit Zucker genossen. Bei den Eiern (hartgekocht) wurde das Gewicht der Schalen abgezogen.

In folgenden Tabellen sind die Analysen der Kost zusammengestellt.¹

Nahrung	H ₂ O	Asche	C-Hydr.	Fette	N	S	P	Alkohol
	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.
Kartoffeln .	78.61	0.83	20.61	—	0.33	0.029	0.031	—
Brod	10.31	1.60	74.90*	—	2.32	—	0.332	—
Aepfel . . .	90.05	0.20	10.20	—	0.05	0.017	0.008	—
Bier	—	0.22	3.58	—	0.08	0.029	0.042	3.10
Milch	—	0.70	4.8*	8.50*	0.54	—	0.102	—
Butter	12.52	0.88	1.14*	84.20	0.21	0.042	0.033	—
Käse	—	4.20	—	30.0*	4.61	—	0.607	—
Eier	80.64	0.82	—	9.92	2.11	—	0.236	—

Nach einer Vorperiode von einigen Tagen mit gewöhnlicher Kost (etwa 115 g Eiweiss) begann der eigentliche Versuch am 5. November und dauerte ununterbrochen bis zum 8. December.

Der Versuch zerfällt in drei Serien. In der ersten, welche 17 Tage dauerte, verlor ich die ganze Zeit N aus dem Körper, in der zweiten, 4 Tage, hielt ich mich nahezu im N-Gleichgewicht, und in der dritten 13 Tage, setzte sich N-haltige Substanz an.

Die Kost wurde zu folgenden Zeiten und in folgenden Mengen verzehrt:

Serie I. 5. bis 21. November 1899.

a) 5 bis 12. November.

11^h Vm. 300 g Kartoffelpurée; 60 g Butter; 150 g Aepfel; 75 g Zucker.

5^h Nm. 300 g Kartoffelpurée; 60 g Butter; 150 g Aepfel; 75 g Zucker; 330 g Bier.

8^h Abds. 100 g Aepfel; 20 g Zucker.

b) 13. bis 14. November.

10^h Vm. 300 g Kartoffelpurée; 60 g Butter; 330 g Bier; 100 g Aepfel.

¹ Die Procentzahlen, welche nicht von mir bestimmt wurden, und die sich hauptsächlich auf H₂O, Fett und Kohlehydrate beziehen, sind aus bekannten Mittelwerthen genommen und mit * bezeichnet.

12^h Mitt. 150^g Aepfel; 75^g Zucker.

4^h Nm. 300^g Kartoffelpurée; 60^g Butter; 330^g Bier.

6^h Nm. 150^g Aepfel; 75^g Zucker.

c) 15. bis 21. November.

10^h Vm. 300^g Kartoffelpurée; 10^g Butter; 330^g Bier.

12^h Mitt. 200^g Aepfel; 100^g Zucker.

4^h Nm. 300^g Kartoffelpurée; 60^g Butter; 330^g Bier.

6^h Nm. 200^g Aepfel; 100^g Zucker.

Serie II. 22. bis 25. November.

10^h Vm. 300^g Kartoffelpurée; 60^g Butter; 330^g Bier; 50^g Ei.

12^h Mitt. 200^g Aepfel; 90^g Zucker.

4^h Nm. 300^g Kartoffelpurée; 60^g Butter; 330^g Bier.

6^h Nm. 200^g Aepfel; 90^g Zucker.

Serie III. 26. November bis 8. December.

a) 26. November bis 2. December.¹

10^h 30' Vm. 10 Eier (etwa 500^g); 150^g Kartoffelpurée; 30^g Butter; 330^g Bier; 220^g Aepfel.

4^h Nm. 300^g Kartoffelpurée; 60^g Butter; 330^g Bier.

6^h Nm. 200^g Aepfel; 100^g Zucker.

Ei wurde am 27. November 500^g verzehrt; am 28. November 510^g; am 29. November 500^g; am 30. November 490^g; am 1. December 490^g und am 2. December 460^g.

b) 3. bis 8. December.

10^h 30' Vm. 8 Eier (etwa 400^g); 40^g Milch; 50^g Brod; 100^g Käse.

4^h Nm. 50^g Brod; 30^g Butter; 30^g Käse; 330^g Bier; 100^g Aepfel.

8^h Nm. 200^g Milch; 25^g Brod; 50^g Käse.

An den verschiedenen Tagen wurde verzehrt: am 3. December 385^g Ei; am 4. December 360^g Ei; am 5. December 360^g Ei; am 6. December 390^g Ei und 165^g Käse; am 7. December 390^g Ei und am 8. December 370^g Ei.

In folgender Uebersichtstabelle ist die Zusammensetzung der Kost, wie auch der Calorienwerth derselben in den verschiedenen Serien näher angegeben.

¹ Am 26. November wurde um 10^h 30' Vm. 300^g Kartoffelpurée, 60^g Butter, 330^g Bier, 50^g Ei verzehrt. Um 1^h Nm. 200^g Aepfel, 200^g Ei. 4^h Nm. 300^g Kartoffelpurée, 60^g Butter, 330^g Bier. 6^h Nm. 200^g Aepfel, 100^g Zucker.

Uebersichtstabelle über die Zusammensetzung der Kost
pro Tag während des Versuches.

Serie	Gewicht der Kost	N-Menge in d. Kost			Fett	Kohlehydrate	Alkohol	Asche	W. E.	W.E. pro Kilogr. Körpergewicht
		N in anim. Nahrungs- mitteln	N in vege- tab.Nahr- Mitteln	Gramm N						
	g	g	g	g	g	g	g	g		
I a	1620	0.25	2.44	2.69	101.04	847.6	10.23	7.51	2505	38
b	1930	0.25	2.71	2.96	101.04	839.4	20.46	8.24	2550	39
c	1980	0.25	2.71	2.96	101.04	839.4	20.46	8.24	2755	43
II	2010	1.31	2.71	4.02	106.0	869.4	20.46	8.65	2747	43
III a	2200	10.34	2.22	12.56	125.88	258.2	20.46	10.85	2700	42
b	1765	19.47	3.16	22.63	139.94	144.8	10.23	18.22	2547	40

Es war meine Absicht, mich an dieselbe Calorienzufuhr zu halten, wie im vorigen Versuche, also etwa auf 2500 Cal. Da jedoch das Körpergewicht im Beginn der Serie I die Neigung zeigte, abzunehmen, so wurde am 15. November die Kost um 50^s Zucker, oder auf 2750 Cal erhöht. Bei dieser Zufuhr erhielt sich das Körpergewicht recht constant (s. die Tabelle auf S. 316).

Am 6. bis 7. November (Serie I), am 22. bis 23. November (Serie II) und am 4. bis 5. Januar (gewöhnliche Kost) wurde die CO₂-Production für 24 Stunden mit Hülfe der Tigerstedt-Sondén'schen Respirationskammer bestimmt.

Ueber das N-Gleichgewicht und den Energienbedarf bei besonders kleiner Menge Eiweiss in der Kost.

Im vorigen Versuche trat N-Gleichgewicht bei einer N-Zufuhr von nur 4.52^s N ein (Serie V). Doch dauerte diese Serie nur 4 Tage, und erst am letzten Tage kam ich in N-Gleichgewicht. In der folgenden Serie desselben Versuches enthielt die Kost 2.43^s N. Ein N-Gleichgewicht trat in den 7 Tagen dieser Serie nicht ein, sondern ich verlor noch am letzten Tage 0.74^s N.

Prof. J. Munk, welcher den Versuch¹ referirte, machte die Bemerkung, dass die N-Menge der Kost in der vorletzten Serie der Berechnung nicht hätte zu Grunde gelegt werden dürfen, da sich nur

¹ *Centralblatt f. Physiol.* Bd. XIII. S. 744.

am letzten (4.) Tage N-Gleichgewicht vorfand und man daher nicht sicher sein konnte, dass es eine längere Zeit bestehen würde.

Es wäre sehr wünschenswerth gewesen, die vorletzte Serie wenigstens noch um einige Tage zu verlängern, doch — wie ich hervorhob — verkürzte ich diese Serie nur aus praktischen Gründen, da die einförmige und einfache Kost anfang, Widerwillen zu erregen und ich nicht sicher sein konnte, wann ich aus diesem Grunde genöthigt sein würde, den Versuch abzubrechen. Da jedoch die N-Ausgaben in der letzten Serie von 4.48^g (am letzten Tage der vorhergehenden Serie) noch weiter, bis auf durchschnittlich 3.51^g pro Tag während der 7 Tage, herabgingen, so spricht dieses unzweifelhaft dafür, dass auch während dieser 7 Tage das N-Gleichgewicht sicherlich beständig gewesen wäre. Prof. J. Munk's Einwand ist daher wohl nicht genug motivirt.

Dass die untere Grenze für meinen N-Bedarf wirklich 4 bis 5^g N beträgt, wird durch den vorliegenden Versuch des Weiteren dargelegt. In der folgenden Tabelle ist die N-Bilanz für diesen Versuch zusammengestellt.

Als die N-Menge in der Kost plötzlich von etwa 18^g¹ auf 2.69^g herabgesetzt wurde, verminderten sich auch die N-Ausgaben recht rasch. Schon am 3. Tage ist die N-Menge im Harn von 16.5^g (am letzten Tage bei gewöhnlicher Kost) auf 3.99^g, und am 6. Tage auf auf 3.15^g gesunken. Tiefer als 2.75^g lässt sich jedoch der Harn-N nicht herabdrücken. Es tritt daher in dieser Serie kein N-Gleichgewicht ein, sondern verliere ich in allen 17 Tagen dieser Serie nicht unbedeutende Mengen N aus dem Körper. Im vorigen Versuch sank die N-Menge im Harn auf 2.15^g durchschnittlich pro Tag, mit einem Minimum von 1.78^g² in der letzten Serie.

Datum	Körpergewicht	Harn			Fäces			N in Harn und Fäces	N in der Kost	Bilanz
		Menge	Spec. Gewicht	N	Frisch	Trock.	N			
1899	kg	ccm		g	g	g	g	g	g	g
Octbr. 30.		990	1028	16.46	—	—	—	—	—	—
31.		2050	1010	16.20	—	—	—	—	—	—
Novbr. 1.	85.2	980	1025	16.32	—	—	—	—	—	—
2.		990	1026	16.65	—	—	—	—	—	—
3.		—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.		850	1027	16.15	—	—	—	—	—	—

¹ N in den Fäces approximativ auf etwa 2.0^g angenommen.

² l. c. S. 116.

(Fortsetzung.)

Datum	Körper- gewicht	Harn			Fäces			N in Harn und Fäces	N in der Kost	Bilanz
		Menge	Spec. Gewicht	N	Frisch	Trock.	N			
1899	kg	ccm		g	g	g	g	g	g	g

Serie I.

[illegible]

Serie II.

[illegible]

Serie III a.

[illegible]

(Fortsetzung.)

Datum	Körper- gewicht	Harn			Fäces			N in Harn und Fäces	N in der Kost	Bilanz
		Menge	Spec. Gewicht	N	Frisc	Trock.	N			
1899	kg	ccm	Spec. Gewicht	g	g	g	g	g	g	g

Serie III b.

Decbr.	3.	64.0	780	1026	14.12	260	} 395	2.12	16.24	22.93	+ 6.69
"	4.	63.9	900	1026	19.35	320		2.12	21.47	22.41	+ 0.94
"	5.	63.9	920	1026	20.98	180		2.12	23.10	22.41	- 0.69
"	6.	63.6	940	1026	21.06	290		2.12	23.12	23.35	- 0.77
"	7.	63.9	920	1026	20.70	195		2.12	22.82	23.04	+ 0.22
"	8.	63.8	960	1025	20.74	300		2.12	22.86	22.62	- 0.24
											+ 6.15

Man fragt sich, weshalb sich nicht auch in diesem Versuche derselbe niedrige Werth für den Harn-N erhalten liess.

Im ersten Theil von Serie I war die Kost nur auf zwei Hauptmahlzeiten vertheilt. Da möglicher Weise hierin eine Ursache dafür liegen konnte, dass die N-Ausgaben sich nicht verminderten, so vertheilte ich während des übrigen Theiles der Serie die Kost gleichmässiger über den Tag, ohne dass sich gleichwohl ein Einfluss dadurch spüren liess. Da ich vermuthete, dass vielleicht Salzhunger die Ursache dieses Verhaltens sein könnte, so verzehrte ich in den letzten vier Tagen der Serie 5 bis 6^g von Lahmann's Nährsalzextract, ohne dass eine wesentliche Verminderung der N-Ausgaben zu bemerken war.

Die Tendenz zur Verminderung des Harn-N, welche in diesen letzten vier Tagen der Serie I thatsächlich auftritt, ist zu unbedeutend, als dass sie in Betracht kommen könnte.

Die Ursache, weshalb die N-Ausgaben in diesem Versuche nicht auf denselben niedrigen Werth sanken, wie in dem früheren Versuche, bleibt noch in Dunkel gehüllt. Vielleicht könnte es darauf beruhen, dass nur durch eine allmähliche Herabsetzung der N-Menge in der Kost — wie es im vorigen Versuche geschah — so niedrige Werthe für die N-Ausgaben zu erreichen sind. Eine sichere Stütze für diese Annahme giebt der Versuch jedoch nicht.

Da die Differenz zwischen den N-Einnahmen und -Ausgaben im letzten Theile der Serie I etwas mehr als 1^g N betrug, so vermehrte ich die N-Menge in der Kost um diesen Betrag, in der Hoffnung, dadurch in N-Gleichgewicht zu kommen.

Das Gleichgewicht wurde auch in Serie II nahezu erreicht. Die N-Einnahmen betragen 4.02 g; die N-Ausgaben durchschnittlich pro Tag 4.30 g, also nahezu N-Gleichgewicht.¹

Dieser Versuch zeigt also wie der vorhergehende, dass die untere Grenze für meinen N-Bedarf 4 bis 5 g N pro Tag beträgt, oder auf das Kilogramm Körpergewicht berechnet 0.07 bis 0.08 g N.

Zieht man ferner in Betracht, dass die gesammte N-Ausgabe in Serie I, mit Ausnahme der vier ersten Tage, in denen der Organismus sich der veränderten N-Zufuhr anpasst, im Durchschnitt pro Tag nur 4.40 g beträgt, so scheint mir auch dieses dafür zu sprechen, dass mein unumgänglicher N-Bedarf wirklich 4 bis 5 g N pro Tag ausmacht, bei der Kost, die ich in diesem Versuche genoss.

Ob diese untere Grenze sich noch herabdrücken liesse, beispielsweise durch eine anders gewählte Kost, ist hierdurch nicht entschieden.

Im vorigen Versuche fand ich, dass die Menge des reinen Eiweisses in der Kost bei dem niedrigen N-Gleichgewicht nur 12 bis 13 g² betrug. — Berechne ich in diesem Versuche, an der Hand der im vorigen angegebenen Procentzahlen, die Vertheilung des N in der Kost in „reines Eiweiss-N“ und „Nicht-Eiweiss-N“, so erhalten wir für Serie II folgende Werthe:

Menge der Speise	Eiweiss-N	Nicht-Eiweiss-N	Reines Eiweiss
g	g	g	g
Kartoffel 600 . . .	0.91	1.08	5.69
Aepfel 400	0.13	0.08	0.81
Bier 660	0.13	0.40	0.81
Butter 120	0.23	—	1.44
Eier 50	1.06	—	6.63
Summa:	2.46	1.56	15.38

Das reine Eiweiss in der Kost beträgt also in dieser Serie etwa 15 g. Die Uebereinstimmung mit früheren Versuchen ist also auch in dieser Hinsicht recht gut, und man findet somit, dass die untere Grenze für den wirklichen Eiweissbedarf etwa 0.2 bis 0.3 g reines Eiweiss pro Kilogramm Körpergewicht beträgt.

¹ Vergleiche auch die S-Bilanz dieser Serie. S. 323.

² l. c. S. 124.

In diesem Versuche verlor ich nicht weniger als 32·41 g N aus dem Organismus, was ungefähr 1 kg Muskelsubstanz entspricht. Nach einem so bedeutenden Eiweissverluste sollte man glauben, dass der Organismus wieder mit Begierde Eiweiss sparen und ansetzen würde. Bei einer Vermehrung der Eiweissmenge in der Kost müsste also der N-Ansatz recht gross werden und N-Gleichgewicht nicht so bald eintreten, vorausgesetzt nämlich, dass die Calorienzufuhr nicht zu knapp bemessen ist.

Jedoch zeigt die Fortsetzung des Versuches, dass dieses nicht der Fall ist.

Im ersten Theile der Serie III, bei einer N-Zufuhr von etwa 13 g,¹ beträgt die N-Ersparniss Alles in Allem 14·49 g, wovon der grösste Theil, oder nicht weniger als 11·93 g, auf die vier ersten Tage entfällt, d. h. auf die Tage, in denen der Organismus darnach strebt, sich der vermehrten N-Menge in der Kost anzupassen.

Die Calorienzufuhr ist in diesem Theile der Serie III besonders reichlich, 2700 Cal., oder nicht weniger als etwa 42 Cal. pro Kilogr. Körpergewicht; die N-freien Nährstoffe allein lieferten 2368 Cal. (etwa 37 Cal. pro Kilogramm), eine an sich schon genügende Menge, um den Energiebedarf des Organismus zu decken.

Im letzten Theile der Serie III steigen die N-Einnahmen auf 22·5 g täglich. Die Energiezufuhr beträgt 2547 Cal. oder etwa 40 pro Kilogramm Körpergewicht. Die N-Ersparniss in diesen sechs Tagen beträgt nur 6·15 g, welche hauptsächlich am ersten Tage angesetzt werden. In den übrigen fünf Tagen ist die N-Bilanz pro die theils positiv, theils negativ, was darauf beruht, dass die N-Menge in der Kost nicht alle Tage gleich ist, sondern etwas wechselt. Aus diesem Grunde lässt sich nicht sicher bestimmen, an welchem Tage das N-Gleichgewicht eintritt. In diesen fünf Tagen betrugen die N-Einnahmen 113·37 g, die Ausgaben 113·83 g, also in diesen Tagen keine Ersparniss.

Es ist bemerkenswerth, dass die N-Ersparniss in diesem Theil der Serie III nicht grösser ist, obgleich die Calorienzufuhr etwa 40 Cal. pro Kilogramm beträgt.

Für die ganze Serie beträgt die N-Ersparniss in Summa 20·64 g.

¹ Am zweiten Tage der Serie beträgt die N-Zufuhr nur 8·24 g, weil ich das Eiweiss unmittelbar nach so lang anhaltender N-armer Kost nicht allzu hastig vermehren wollte, da ich nicht sicher sein konnte, in welchem Grade ein derartiger rascher Wechsel den Organismus, besonders die Nieren, anstrengen würde.

Die N-Menge — 32·41^g —, welche der Organismus früher verlor, wird also in diesen 13 Tagen nur zu zwei Dritteln gedeckt.

Es wurde schon hervorgehoben, dass die grössten Ersparnisse in den ersten Tagen nach Erhöhung der N-Menge in der Kost eintreten. Darauf wird der N-Ansatz verhältnissmässig gering. Trotz der reichlichen Calorienzufuhr ist es also nicht leicht, eine Eiweissersparniss zu Wege zu bringen.

Dieses zeigt, dass der Organismus trotz eines vorhergehenden starken N-Verlustes bei einer Vermehrung der N-Zufuhr in der Kost in erster Linie darnach strebt, in N-Gleichgewicht zu kommen.

Dieser Umstand ist bemerkenswerth, da er augenscheinlich dafür spricht, dass die lebende Substanz relativ langsam aus dem todtten Eiweiss der Kost aufgebaut wird.

Bekanntlich ist Pflüger in Uebereinstimmung mit Liebig der Ansicht, dass nur organisirte Substanz im Organismus verbrannt wird, und dass alles Eiweiss welches wir durch die Nahrung erhalten, erst organisirt wird — hoc est, aus todttem in lebendes Eiweiss übergeht. Voit und seine Schule dagegen unterscheidet zwischen „organisirtem“ und „circulirendem“ Eiweiss. Das organisirte, lebende Eiweiss ist relativ beständig, das circulirende dagegen, welches aus der Nahrung stammt, wird in erster Reihe verbrannt, ohne vorher organisirt worden zu sein.

Wenn es sich so verhält, dass die lebende Substanz nur langsam aus dem todtten Eiweiss der Kost aufgebaut wird, wie mein Versuch darzulegen scheint, so hat wohl die Liebig-Pflüger'sche Lehre nicht viel Wahrscheinlichkeit für sich. Stellt man sich auf den Standpunkt dieser Theorie, so würde der Organismus in einigen Stunden das aus der Kost resorbirte todtte Eiweiss in lebende Substanz verwandeln, um es unmittelbar wieder zu zerstören.

Von rein teleologischem Gesichtspunkte aus ist es gegenwärtig nicht einzusehen, wozu eine derartige — dem Organismus relativ unnütze — synthetische Arbeit dienen sollte.

Alles, was uns bis auf Weiteres über den Eiweissumsatz im thierischen Organismus bekannt ist, spricht für die Voit'sche Lehre vom „circulirenden Eiweiss“.

Das N-Gleichgewicht, die relativ rasche Verbrennung des Eiweisses, die Schwierigkeit, eine Eiweissersparniss zu Stande zu bringen u. s. w., sind Thatsachen, die völlig mit dieser Theorie im Einklange stehen, welche auf dem gegenwärtigen Standpunkte unseres Wissens die grösste Wahrscheinlichkeit für sich hat.

Um die Frage zu entscheiden, ob der Energiebedarf des menschlichen Organismus bei niedriger Eiweissdiät grösser ist, als unter gewöhnlichen Verhältnissen, bestimmte ich in Serie I und II und bei gewöhnlicher Kost meine CO_2 -Production in 24 Stunden.

Die Luftproben wurden nach sechsstündigen Zwischenräumen genommen, und der Versuchstag von 8 bis 8 Uhr Morgens gerechnet.

Einige Tage lang hatte ich mit einem gewöhnlichen Schrittzähler meine Schritte gezählt und gefunden, dass ich durchschnittlich 9 bis 10 000 Schritte am Tage zurücklegte. Um so vergleichbare Zahlen als möglich zu erhalten, spazierte ich auch in der Respirationskammer etwa 10 000 Schritt in 24 Stunden.

In folgender Tabelle ist die CO_2 -Production für diese drei Versuchstage angegeben.

Periode	Serie I. 6. bis 7. Nov. 1899		Serie II. 22. bis 23. Nov. 1899		Gewöhnliche Kost 4. bis 5. Jan. 1900	
	CO_2	C	CO_2	C	CO_2	C
1.	211.7	57.2	214.9	58.0	230.0	62.1
2.	222.2	60.0	199.3	53.8	200.7	54.2
3.	148.0	40.0	132.8	35.9	144.9	39.1
4.	132.1	35.6	157.3	42.6	126.4	34.1
Sa.:	714.0	192.8	704.9	190.3	702.0	189.5

Um hieraus den Gesamtstoffwechsel zu berechnen, nehme ich an, dass Fett, Kohlehydrate und Alkohol im Organismus in denselben Verhältnissen verbrannten, wie diese Nährstoffe in der Kost vorhanden waren.¹

In Serie I und II vertheilt sich der Kohlenstoff in der Kost auf Fett, Kohlehydrat und Alkohol auf folgende Art in Procenten:

¹ Es braucht kaum darauf hingewiesen zu werden, dass dieses thatsächlich nicht der Fall zu sein braucht, sondern dass die Verbrennung dieser Nährstoffe im Organismus auf andere Art geschehen kann. Wir wissen, dass die lebende Substanz zuerst das Eiweiss angreift, und dass wahrscheinlich Alkohol und Kohlehydrate vor dem Fette verbrannt werden. Wenn indessen dem auch so wäre, so wirkt dieses in meinem Versuche nicht wesentlich auf das Resultat ein, und daher wollte ich nicht von der Berechnungsweise des Gesamtstoffwechsels abweichen, die früher beispielsweise von Tigerstedt und Sonden (Untersuch. über die Respiration und den Gesamtstoffwechsel des Menschen. *Dies Arch.* 1895) eingeschlagen wurde. Die erhaltenen Werthe gestalten sich sowohl in dem einen, wie dem anderen Falle nicht absolut exact, da die Kost, Urin und Fäces nicht vollständig auf Kohlenstoff analysirt wurden.

	Kohlenstoff aus		
	Fett	C-Hydrat	Alkohol
Serie I	34 Proc.	64 Proc.	2 Proc.
Serie II	38 „	63 „	4 „

Aus Versehen wurde die Kost am 4. bis 5. Januar nicht gewogen, so dass ich nicht mit Sicherheit die Zusammensetzung derselben angeben kann. Lege ich gleichwohl der Berechnung die Werthe zu Grunde, welche ich im vorigen Versuche¹ in der 10tägigen Periode bei frei gewählter Kost erhielt, so dürfte die Abweichung vom wirklichen Verhalten nicht allzu gross sein. Die Vertheilung des Kohlestoffes in der Nahrung gestaltet sich bei meiner gewöhnlichen Kost derart, dass 41 Proc. auf Fett entfallen, 56 Proc. auf Kohlehydrat und 3 Proc. auf Alkohol.

Vorausgesetzt, dass im Harn $N:C = 1:0.90$ und im Eiweiss $N:C = 1:3.28$, und dass folgende Calorienmengen entsprechen:

1 ^g N	= 26.0 Cal.
1 C in Fett . . .	= 12.3 „
1 C in Kohlehydrat	= 9.5 „
1 C in Alkohol . .	= 13.4 „

so erhalten wir folgende Zahlen für den Gesamtstoffwechsel im Organismus:

Serie Datum	N g	Kohlenstoff in Gramm aus				Summa C	Summa Calorien
		Eiweiss	Fett	Kohleh.	Alkoh.		
I. 6.—7./XI.	6.93	22.7	59.7	112.2	3.5	198.1	2027
II. 22.—23./XI.	2.99	9.8	60.5	115.5	6.5	192.3	2082
Gewöhnl. Kost							
4.—5./I. 1900	12.4	41.0	66.0	90.0	5.0	202.0	2056

In den Serien I und II, bei der besonders N-armen Kost, beträgt mein Energiebedarf 2027 und 2082 Cal., oder etwa 32 Cal. netto pro Kilogramm Körpergewicht. Bei gewöhnlicher Kost beträgt er 2056 Cal. oder nahezu ebenso viel. Im vorigen Versuche hatte ich den Gesamtstoffwechsel auf 1895, 1999 bzw. 1912 Cal. bestimmt bei einer Eiweissmenge in der Nahrung von 79.4, 64.6 und 39.6 g.

Der unbedeutende Unterschied des Energiebedarfs zwischen dem vorigen und diesem Versuche findet seine Erklärung darin, dass ich mich im ersten Versuche in der Respirationskammer weniger bewegte. Die Uebereinstimmung im Gesamtstoffwechsel an allen diesen ver-

¹ l. c. S. 107.

schiedenen Tagen mit wechselnder Eiweissmenge in der Nahrung ist gleichwohl derart, dass die Differenz als innerhalb der gewöhnlichen Fehlergrenzen liegend angesehen werden muss.

Hieraus folgt ganz klar, dass eine Verminderung der Eiweissmenge der Nahrung keinen Einfluss auf den Energieumsatz im Organismus ausübt, sondern dass der Calorienbedarf bei besonders niedrigem Eiweissgehalt der Nahrung ebenso gross ist, wie unter normalen Verhältnissen.

Die Verminderung des Körpergewichts, welche bei dem niedrigen N-Gleichgewicht im vorigen Versuch eintrat, kann also nicht darauf beruht haben, dass der Energiebedarf des Organismus grösser war, als bei gewöhnlicher Kost, und ich aus diesem Grunde von meinem Körperfett verbrannte.

Auch in diesem Versuche nahm das Körpergewicht vom 5. bis 15. November etwa um 1 kg ab bei einer Calorienzufuhr von etwa 2500 (38 bis 30 Cal. pro Kilogramm). Als die Kost am 15. November auf etwa 43 Cal. pro Kilogramm vermehrt wurde, erhielt sich das Körpergewicht ziemlich constant. Die Verminderung in den übrigen 23 Tagen des Versuches betrug etwa 0.5 kg.

Es ist eigenthümlich, dass das Körpergewicht abnimmt, obgleich theoretisch wenigstens, die Kost als völlig genügend, ja sogar reichlich anzusehen ist. Worauf dieses beruht, kann ich nicht erklären. Sicher ist jedoch ein Theil des Verlustes Veränderungen in der Wassermenge des Organismus zuzuschreiben. Wie aus der Tabelle S. 316 hervorgeht (z. B. 21., 22., 23. November), variirte das Körpergewicht an den verschiedenen Tagen nicht unbedeutend. Da ich mich stets zur selben Zeit, um 9 Uhr Vormittags, wog, noch bevor ich etwas genossen hatte, und vor der Defäcation, so beruhen diese Fluctuationen des Körpergewichts, 200 bis 300 g täglich, sicherlich nur auf Schwankungen in der Wassermenge des Organismus.

Gleichwohl spielt sicher in Serie I auch der relativ grosse Eiweissverlust des Organismus eine nicht ganz unbedeutende Rolle. Eine nähere Berechnung darüber, wieviel vom Gewichtsverluste auf Wasser entfällt und wieviel auf die Verminderung des Eiweisses, gestattet der Versuch selbstverständlich nicht.

Ueber den Schwefelumsatz im Organismus bei geringer Menge Eiweiss in der Nahrung.

Wenn es darauf ankommt, die untere Grenze des wirklichen Eiweissbedarfes zu bestimmen, so genügt es nicht, nur das N-Gleich-

gewicht in Betracht zu ziehen. Denn da die Kost N auch in anderer Form als Eiweiss enthält, so lässt sich aus der N-Bilanz allein nicht der reine Eiweissumsatz beurtheilen.

Berücksichtigt man dagegen gleichzeitig die S-Bilanz, so kommt man der Wahrheit näher, da der Schwefel sowohl in der Nahrung, wie in den Ausgaben des Körpers zum allergrössten Theile aus dem Eiweiss stammt.

Wenn man also bei einer Kost mit ausnehmend wenig N, wovon ein grosser Theil nicht auf Eiweiss entfällt, in N-Gleichgewicht kommt, so muss man sich auch in S-Gleichgewicht befinden, um mit völliger Sicherheit behaupten zu können, dass das reine Eiweiss in der Nahrung hinreichend ist, den Bedarf des Organismus zu decken.

In den Serien I und II enthielt meine Kost etwa 40 Proc. Nicht-Eiweiss-N. Unter solchen Umständen war es natürlich von grösstem Interesse, auch den Schwefelumsatz zu verfolgen. Ich that dieses um so lieber, als der vorhergehende Versuch, wo die Schwefelmenge nur im Harn bestimmt wurde, mich zu der Behauptung veranlasst hatte, dass die nicht eiweissartigen N-Verbindungen in der Nahrung (Asparagin, Amidosäuren u. dgl.) nicht „so direct im Organismus verbrannt wurden, als man bisher angenommen“. Zu dieser Schlussfolgerung musste ich kommen, da ich voraussetzte, dass das Eiweiss 2 Proc. Schwefel enthielt.¹

Indessen bin ich jetzt in der Lage, meinen vorigen Veruch in dieser Hinsicht zu corrigiren. Eine vollständige Schwefelanalyse nicht nur des Harns, sondern auch der Fäces und der Nahrung zeigt nämlich, dass die nicht eiweissartigen N-Verbindungen sich nicht so zu verhalten brauchen, wie ich früher angegeben..

In der Tabelle auf folgender Seite ist die Schwefelbilanz für die drei ersten Serien des Versuches zusammengestellt.

Im Grossen und Ganzen geht der Schwefelumsatz in diesem Versuche parallel mit dem N-Umsatz. In der ganzen ersten Serie verliert der Organismus durchschnittlich täglich 0.134^{*} Schwefel, oder etwa 22 Proc. der S-Ausgaben; in Serie II dagegen durchschnittlich nur 0.008^{*} pro Tag, oder etwa 1.5 Proc. der Schwefelausgaben. — In Serie II findet sich also nahezu Schwefelgleichgewicht und zeigt dieses, dass die geringe Menge reinen Eiweisses (etwa 15^{*}), welches die Kost enthielt, nahezu völlig hinreichte, um den Bedarf des Organismus zu decken.

Ebenso wie im ersten Versuche, ist auch hier die Menge des Schwefels im Harn, im Verhältniss zum Stickstoff, recht hoch, und

¹ Siehe Näheres *dies Archiv.* 1899. Bd. X. S. 131.

Datum 1899	Harn			Schwefel in den Fäces	Schwefel in Harn u. Fäces	Schwefel in der Kost	Bilanz
	Oxydirter Schwefel	Neutraler Schwefel	Gesamt- Schwefel				
	g	g	g				

Serie I.

Novbr. 5.	0.548	0.123	0.671	—	—	0.888	—
„ 6.	0.317	0.153	0.500	—	—	0.888	—
„ 7.	—	—	0.381	—	—	0.388	—
„ 8.	0.275	0.230	0.505	—	—	0.888	—
„ 9.	0.288	—	—	0.156	—	0.888	—
„ 10.	0.267	0.158	0.425	0.156	0.581	0.888	-0.193
„ 11.	—	—	—	0.156	—	0.888	—
„ 12.	0.284	0.074	0.358	0.156	0.514	0.888	-0.126
„ 13.	0.297	0.133	0.412	0.156	0.568	0.484	-0.084
„ 14.	0.259	0.220	0.479	0.156	0.635	0.484	-0.151
„ 15.	0.302	—	—	0.156	—	0.484	—
„ 16.	0.264	0.215	0.479	0.156	0.635	0.484	-0.151
„ 17.	0.329	0.070	0.399	0.156	0.555	0.484	-0.071
„ 18.	0.311	0.121	0.432	0.143	0.575	0.484	-0.091
„ 19.	0.293	0.277	0.570	0.143	0.713	0.484	-0.229
„ 20.	0.274	0.179	0.453	0.143	0.596	0.484	-0.112
„ 21.	0.307	0.163	0.470	0.143	0.613	0.484	-0.129

Serie II.

Novbr. 22.	0.275	0.155	0.430	0.127	0.557	0.545	-0.012
„ 23.	0.252	0.137	0.389	0.127	0.516	0.545	+0.029
„ 24.	0.226	0.194	0.420	0.127	0.547	0.545	-0.002
„ 25.	0.225	0.211	0.466	0.127	0.593	0.545	-0.048

besonders ist der neutrale Schwefel vermehrt. Folgende Tabelle umfasst die durchschnittliche Schwefelmenge pro Tag, wie auch das Verhältniss von N : S in Kost, Harn und Fäces.

Die Ursache der verhältnissmässig grossen Menge Schwefel im

Serie	Durchschn. pro Tag ausgesch. Schwefel in Gramm			$\alpha : \beta$ ($\alpha + \beta = 100$)	N : S in		
	Gesamt- Schw.	oxydirter Schw. α	neutraler Schw. β		Kost	Harn	Fäces
I	0.470	0.308	0.162	66:34	6.1:1	7.7:1	8.2:1
II	0.426	0.252	0.174	59:41	7.4:1	7.2:1	9.7:1

Harn ist darin zu suchen, dass auch die Kost verhältnissmässig viel Schwefel enthält. Wie aus der Tabelle hervorgeht, ist das Verhältniss von N:S in der Kost, wie in Harn und Fäces, ungefähr gleich.

Aus diesem Grunde ist anzunehmen, dass der N sowohl im Harn, als in den Fäces theils aus dem reinen Eiweiss der Nahrung, theils aus den anderen N-haltigen Verbindungen her stammt, und dass die Resorption und Verbrennung sowohl des Eiweisses, als der Amidverbindungen in gleichen Verhältnissen vor sich geht. Im vorigen Versuche war ich zu dem Schlusse gelangt, dass aller N im Harn vom Eiweiss her stammt, da ich die S-Menge im Eiweiss auf 2 Proc. veranschlagte.

In Folge dessen konnte ich nicht befriedigend erklären, wie die nicht eiweissartigen N-Verbindungen in der Nahrung, die nachweisbar resorbirt waren, den Organismus verliessen.

Jetzt stellt sich die Sache, wie oben gezeigt, viel einfacher, da der Harn-N deutlich nicht nur aus dem Eiweiss stammt, sondern auch aus diesen Amidverbindungen in der Kost.

Meine in der vorigen Abhandlung ausgesprochene Behauptung, dass diese nicht eiweissartigen N-Verbindungen in der Kost den Organismus nicht so direct verlassen, als man angenommen, wird also hinfällig.

Der Phosphorumsatz des erwachsenen Menschen.

Soweit mir bekannt, fehlen vollständige Bilanzen über den Phosphorumsatz des Menschen unter normalen Verhältnissen gänzlich. Aus diesem Grunde schien es mir am Platze zu sein, folgende Phosphorbilanz zu veröffentlichen, wenn auch daraus bis auf Weiteres keine bemerkenswerthen Schlüsse zu ziehen sind.

In folgender Tabelle sind die Phosphoreinnahmen und -Ausgaben meines Organismus vom 5. November bis zum 8. December incl. zusammengestellt.

Schon durch Bischoff's¹ Untersuchungen an Hunden weiss man,

Datum		P im Harn	P in den Fäces	P in Harn + Fäces	P in der Kost	Bilanz
		g	g	g	g	g
October	31.	0.992	—	—	—	—
November	1.	1.098	—	—	—	—
„	2.	1.023	—	—	—	—
„	3.	—	—	—	—	—
„	4.	1.047	—	—	—	—

¹ *Zeitschr. f. Biologie.* 1867. Bd. III. S. 309.

(Fortsetzung.)

Datum	P im Harn g	P in den Fäces g	P in Harn + Fäces g	P in der Kost g	Bilanz g
-------	----------------	------------------------	---------------------------	-----------------------	-------------

Serie I.

November 5.	0.644	—	—	0.389	—
„ 6.	0.678	—	—	0.389	—
„ 7.	0.480	—	—	0.389	—
„ 8.	0.502	—	—	0.389	—
„ 9.	0.502	0.283	0.785	0.389	-0.396
„ 10.	0.498	0.283	0.776	0.389	-0.387
„ 11.	0.422	0.283	0.705	0.389	-0.316
„ 12.	0.469	0.283	0.752	0.389	-0.363
„ 13.	0.430	0.283	0.713	0.526	-0.187
„ 14.	0.458	0.283	0.741	0.526	-0.215
„ 15.	0.470	0.283	0.753	0.526	-0.227
„ 16.	0.448	0.283	0.731	0.526	-0.205
„ 17.	0.419	0.283	0.702	0.526	-0.176
„ 18.	0.415	0.331	0.746	0.526	-0.220
„ 19.	0.385	0.331	0.716	0.526	-0.190
„ 20.	0.439	0.331	0.770	0.526	-0.244
„ 21.	0.356	0.331	0.687	0.526	-0.161

Serie II.

„ 22.	0.389	0.364	0.753	0.644	-0.109
„ 23.	0.381	0.364	0.745	0.644	-0.101
„ 24.	0.437	0.364	0.801	0.644	-0.157
„ 25.	0.523	0.364	0.887	0.644	-0.243

Serie IIIa.

„ 26.	0.654	0.460	1.114	1.131	+0.017
„ 27.	0.887	0.460	1.347	1.653	+0.306
„ 28.	0.911	0.460	1.371	1.677	+0.306
„ 29.	0.978	0.460	1.438	1.653	+0.215
„ 30.	0.984	0.460	1.444	1.629	+0.185
December 1.	0.802	0.460	1.262	1.629	+0.367
„ 2.	0.964	0.460	1.424	1.558	+0.134

Serie IIIb.

„ 3.	1.108	1.595	2.703	3.183	+0.480
„ 4.	1.410	1.595	3.005	3.124	+0.119
„ 5.	1.441	1.595	3.036	3.124	+0.088
„ 6.	1.410	1.595	3.005	3.099	+0.094
„ 7.	1.445	1.595	3.040	3.194	+0.154
„ 8.	1.441	1.595	3.036	3.147	+0.111

dass der Phosphor- und N-Umsatz ziemlich gleichen Schritt halten, so dass, wenn der Organismus N verliert, auch P abgeht und umgekehrt. Dieses ist im Allgemeinen auch in meinem Versuche der Fall. — In Serie I beträgt der N-Verlust des Organismus pro Tag (vom 9. bis 21. November) 1.54^g , und der Phosphorverlust ist gleichzeitig 0.253^g ; in Serie II betragen die betr. Zahlen 0.28^g N und 0.52^g P; in Serie III erspart der Körper sowohl N-, als P-haltige Substanz.

Während ich mich also in Serie II nahezu in N-Gleichgewicht befand, war der Phosphorverlust noch so gross, dass er nicht innerhalb der gewöhnlichen Fehlergrenzen fallen kann, sondern einen wirklichen Verlust phosphorhaltiger Substanz aus dem Organismus bilden muss.

Die Ursache ist in der Versuchsanordnung zu suchen. Da mein N-Deficit am Ende der Serie I etwas über 1^g pro Tag betrug, beschloss ich, die Nahrung um ein Ei (etwa 50^g), welches ungefähr 1^g N enthielt, zu vermehren, in der Hoffnung, hierdurch in N-Gleichgewicht zu kommen, was auch nahezu gelang. Mein Phosphordeficit betrug in derselben Zeit etwa 0.2^g P täglich. Da ein Ei nur 0.1^g P enthält, so war es selbstverständlich, dass ich durch Hinzufügung eines solchen zur Kost nicht gleichzeitig P-Gleichgewicht erlangen konnte.

Dieses zeigt gewissermaassen, dass der N- und P-Umsatz nicht parallel zu verlaufen braucht. Schon a priori scheint dieses auch ganz natürlich, denn da N- wie P-Umsatz in erster Linie durch die Nahrung beeinflussen wird, so lässt sich sehr wohl denken, dass diese so zusammengesetzt sein kann, dass N-Gleichgewicht ohne gleichzeitiges Phosphorgleichgewicht existiren kann, wie dies auch in meinem Versuche der Fall war. Bekanntlich stammen N und P aus verschiedenen Quellen. Während die N-Bilanz ein treues Bild des Eiweissumsatzes im Organismus giebt, stammt der Phosphor zum Theil (und zwar überwiegend) aus den Nucleinen, zum Theil aus den phosphorsauren Salzen der Kost. Aus diesem Grunde braucht natürlich die untere Grenze des N- und P-Bedarfs nicht gleichzeitig erreicht zu werden.

In Serie II befinde ich mich offenbar ganz nahe der unteren Grenze meines N-Bedarfs, während dies in Bezug auf den P-Bedarf nicht der Fall ist. Wie gross der letztere ist, lässt sich aus meinem Versuche nicht mit Sicherheit bestimmen. Wahrscheinlich aber kann der Minimalbedarf an Phosphor pro Tag, meinem Versuche nach zu urtheilen, nicht weniger als 0.7 bis 0.8^g betragen. In den Serien I und II steigen die täglichen Phosphorausgaben auf diesen Werth und erhalten sich ziemlich constant auf demselben. Bei dieser Diät ist also höchst wahrscheinlich, dass sich die untere Grenze des Phosphorbedarfs ganz in der Nähe dieser Zahl befinden muss.

Bekanntlich hat man in letzterer Zeit vielfach die Frage discutirt, in welcher Form der Phosphor resorbirt wird. Seitdem die grosse Bedeutung des Phosphors für das Wachsthumsvermögen des Organismus dargelegt worden und man zeigen konnte, dass speciell für die Zellenbildung die Anwesenheit von Phosphor in der die Zelle umgebenden Nährflüssigkeit von grösster Bedeutung ist, hat man sich gefragt, ob der Phosphor in organisch gebundener Form, oder als anorganisches Salz von den Zellen aufgenommen wird.

Man stellte sich Anfangs vor, dass der Phosphor in organischer Verbindung — vor Allem in den Nucleinstoffen gebunden — nur unbedeutend resorbirt wurde, weil die Stoffe (die Nucleine) eine grosse Widerstandskraft gegen die Digestionsflüssigkeiten zeigten (Bokay), und daher der Organismus diese Nucleinstoffe synthetisch aus einfacheren Verbindungen aufbauen muss.

Spätere Untersuchungen (Popoff, Gumlich, Marcuse, Steinitz) sprechen jedoch dafür, dass der Phosphor nicht nur als phosphorsaures Salz, sondern auch in organischer Verbindung resorbirt wird.

Im Allgemeinen ist jedoch die Phosphoresorption, scheinbar wenigstens, bedeutend geringer als die N-Resorption. Dieses geht auch aus meinem Versuche und aus folgenden Vergleichen hervor.

In meinem Versuche enthalten die Fäces vom N und Phosphor der Nahrung folgende Zahlen in Procenten:

	N	P
Serie I.	31	50
„ II.	30	57
„ III.	13	42

Verhältnissmässig ist also die P-Resorption bedeutend geringer als die N-Resorption.

Gleichwohl braucht dieses in Wirklichkeit nicht der Fall zu sein. Wir wissen, dass ein bedeutender Theil des N in den Fäces — etwa 1st bei gewöhnlicher Kost — aus dem Organismus her stammt, und nicht aus Speiseresten; und höchst wahrscheinlich verhält sich in Betreff des Phosphors ebenso, obgleich wir nicht einmal annähernd wissen, ein wie grosser Theil des P in den Fäces aus der Speise stammt, und wie viel aus dem Organismus. Es lässt sich daher gegenwärtig nichts mit Bestimmtheit darüber sagen, ob die Resorption von P in Wirklichkeit schwächer ist als die N-Resorption.

Schlusswort.

Suche ich in Kürze die Resultate dieser Untersuchung zusammen zu fassen, so komme ich zu folgenden Schlüssen.

1. Dieser Versuch bekräftigt noch mehr die durch meinen früheren Versuch dargelegte Thatsache, dass sich der menschliche Organismus, eine kürzere Zeit wenigstens, in N-Gleichgewicht erhalten kann bei einer N-Zufuhr von 0.7 bis 0.8^s N pro Kilogramm Körpergewicht, wovon nur etwa 0.3^s (= 0.2^s Eiweiss) reiner Eiweiss-N zu sein braucht.¹

2. Bei dieser niedrigen N-Zufuhr ist der Energiebedarf des Organismus nicht erhöht, sondern ebenso gross wie unter gewöhnlichen Verhältnissen bei eiweissreicher Kost.

3. Nach einem vorhergegangenen starken Eiweissverlust strebt der Organismus, bei Vermehrung des Eiweisses in der Kost, in erster Linie darnach, in N-Gleichgewicht zu kommen, und scheint nur verhältnissmässig langsam N-haltige Substanz anzusetzen, was augenscheinlich dafür spricht, dass die lebende Substanz nur langsam aus dem toten Eiweiss der Kost wieder aufgebaut wird.

In Bezug auf die S- und P-Bilanzen sei auf die Seiten 323 und 326 verwiesen.

Es lässt sich nicht leugnen, dass die Frage von der Bedeutung des Eiweisses in der täglichen Nahrung des Menschen trotz des Fleisses und der Arbeit, die auf das Studium derselben verwandt wurde, noch immer als ungelöstes Räthsel vor uns steht.

Zu Liebig's Zeiten, als man noch kein so grosses Material von Thatsachen zur Verfügung hatte, schien die Antwort auf diese Frage viel einfacher als jetzt. Man nahm an, dass bei der Arbeit, die der Organismus verrichtete, nur organisirtes Material zerstört wurde, und dass diese Arbeit ausschliesslich auf Kosten des Eiweisses ausgeführt wurde. Und da der Organismus seine lebende Substanz aus keinen einfacheren Verbindungen aufbauen konnte als aus dem Eiweiss, so ging hieraus unmittelbar die grosse Bedeutung des Eiweisses für den Organismus hervor. Was zerstört wurde, musste ersetzt werden. Je mehr Eiweiss daher die Nahrung enthielt, desto besser, „kräftiger“ war sie. In Folge dessen wurde denn auch lange Zeit hindurch der Nährwerth eines Nahrungsmittels ausschliesslich nach seinem Eiweissgehalt beurtheilt.

¹ Ich sehe hier gänzlich von dem unbedeutenden Verlust der N-haltigen Substanz ab, welcher beispielsweise durch Abschuppen der Haut, Abnutzung der Nägel, Ausfallen des Haars u. s. w. zu Stande kommt; diese Verluste, pro Tag berechnet, sind so klein, dass sie mit Recht nicht in der N-Bilanz mitgezählt werden, sondern innerhalb der Fehlergrenzen der Methodik fallen und daher im Allgemeinen mit Fug unbeachtet gelassen werden.

Nun haben aber fortgesetzte Forschungen die alte Liebig'sche Lehre in wesentlichen Punkten ganz und gar umgestaltet. Wir wissen nunmehr, dass die Muskulararbeit des Organismus hauptsächlich auf Kosten der N-freien Nährstoffe der Kost ausgeführt wird, und dass bei der Verbrennung im Organismus höchst wahrscheinlich nicht organisirtes Material zerfällt.

Wir wissen ferner, dass der Eiweissbedarf nicht vom eigenen Eiweissbestande des Organismus abhängt, und dass der Organismus seine Arbeit ebenso gut mit verhältnissmässig viel, als mit verhältnissmässig wenig Eiweiss in der Nahrung ausführen kann. Nur eine gewisse, recht niedrige untere Grenze lässt sich nicht unterschreiten, ohne dass der Organismus von seinem eigenen Eiweiss einbüsst.

Wie aus diesen Untersuchungen hervorgehen dürfte, ist auch der Energiebedarf des Organismus bei geringen Eiweissmengen in der Kost nicht grösser als normal, wie man früher annahm (Voit, J. Munk), sondern derselbe ist wie unter normalen Verhältnissen.

Mit Kenntniss aller dieser Thatsachen fragt man sich nunmehr, welche Bedeutung das Eiweiss der Nahrung besitzt? Die Frage scheint jetzt schwerer zu beantworten zu sein, als zu Liebig's Zeit.

Wie eben erwähnt, geht aus mehreren experimentellen Untersuchungen hervor, dass eine bestimmte untere Grenze für den N-Bedarf existirt, die sich nicht unterschreiten lässt, ohne dass der Organismus von seiner lebenden Substanz verliert.

Aber diese untere Grenze untersteigt bedeutend die Eiweissmenge, die der Mensch täglich verzehrt. Mit nur 4 bis 5^g N in der Nahrung ist es noch möglich — für kurze Zeit wenigstens —, einen erwachsenen, 65^{kg} schweren Mann im N-Gleichgewicht zu erhalten. — In unserer täglichen Kost erhalten wir aber 15 bis 20^g N.

Ist nun der grössere Theil dieser N-Menge überflüssig? — Aeltere Physiologen (Lehmann, Frerichs, Bidder und Schmidt) bejahten diese Frage und stellten die bekannte „Luxustheorie“ auf. Nur die Menge Eiweiss, welche dem Hungerminimum entsprach, war dem Organismus nothwendig; was dieses Minimum überstieg, war „Luxus“.

Gegen diese „Luxustheorie“ trat Voit auf, und es gelang ihm durch seine grosse Autorität auf dem Gebiete der Ernährungsphysiologie, dieselbe zurück zu weisen. Wiederholt erklärte Voit, dass die Eiweissmenge, welche wir im Allgemeinen verzehren, auch nothwendig ist, um den Körper „muskelkräftig“ und arbeitsfähig zu erhalten, und dass 118^g Eiweiss in der Nahrung das Minimum für einen sog. „Mittelarbeiter“ bilde. Voit, wie auch Pflüger geht dabei von der Voraussetzung aus, dass der Eiweissbedarf sich nach dem eigenen

Eiweissbestande des Organismus richtet, und dass ein constantes Verhältniss zwischen der N-Menge in der Nahrung und dem eigenen N des Organismus besteht.

Nun existirt aber kein derartiges Verhältniss, denn der menschliche Organismus kann, ohne etwas von seinem eigenen N zu verlieren, die N-Menge in der Nahrung von der Norm bis auf 4 bis 5% herabsetzen, was unmöglich wäre, wenn der eigene N-Bestand des Organismus so von der N-Menge in der Kost abhinge, wie Voit und Pflüger behaupten.

Da es ebenfalls sicher bewiesen ist, dass der menschliche Organismus auch eine längere Zeit mit viel weniger Eiweiss in der Nahrung auskommen kann, als Voit für einen Mittelarbeiter fordert,¹ und da es höchst unsicher ist, ob nur eine reichliche Eiweisszufuhr den Organismus „muskelkräftig“ und arbeitsfähig macht, so lässt sich bezweifeln, ob Voit's strenges Urtheil über die alte „Luxustheorie“ völlig gerecht war.

Auf Grund von Laboratoriumsversuchen wäre man geneigt zu behaupten, dass diese alte Lehre, in gewissem Grade wenigstens, berechtigt war.

Doch wäre es sicherlich übereilt, von einem Ueberflusse zu sprechen, bevor man den Zweck kennt, wozu der Organismus das Eiweiss verwendet, welches er täglich verzehrt. Was wissen wir darüber?

Es muss zugegeben werden, dass unser Wissen hierin im Allgemeinen negativ ist.

Wir wissen, dass das Eiweiss in der Nahrung für die Muskelarbeit nicht nothwendig ist; wir wissen, dass ein gewisses Minimum nicht unterschritten werden darf, ohne dass der Organismus darunter leidet, aber wir wissen nicht, weshalb dem so ist; wir wissen nicht, welchen vitalen Processen das Eiweiss im Allgemeinen, und speciell diese verhältnissmässig geringe Eiweissmenge dient.

Aber so lange unsere Kenntniss des Eiweissstoffwechsels im Organismus auf diesem Standpunkte steht, so lange ist es unmöglich, eine befriedigende Antwort auf die Frage von der Bedeutung des Eiweisses in der Nahrung des Menschen zu geben.

Herrn Prof. Robert Tigerstedt spreche ich meinen besten Dank aus für die Zuvorkommenheit, mit der er mir Gelegenheit gab, in seinem Laboratorium zu arbeiten, und für das Interesse, welches er meiner Arbeit erwiesen.

¹ Voit's Vegetarianer lebte mehrere Jahre mit nur etwa 50% Eiweiss in seiner täglichen Kost.

Nochmals über die Ermüdbarkeit des Muskels und seiner motorischen Nervenendigungen.¹

Von

C. G. Santesson.

(Aus der pharmakologischen Abtheilung des Carolinischen Institutes zu Stockholm.)

Vor einigen Jahren mit Versuchen über die curareähnliche Wirkung gewisser Gifte beschäftigt, wurde ich dazu gebracht, die physiologischen Bedingungen der mit einzelnen Inductionsschlägen vom Nerven aus gereizten Nerv-Muskelpräparate (von *Rana temporaria*) zu studiren. Die dabei ausgeführten Versuche brachten mich zu dem Schluss,² „wenn das Präparat vom Nerven aus mit einzelnen maximalen Oeffnungsinductionsschlägen beinahe ermüdet worden ist, dann reagirt der Muskel nicht mehr auf dieselben Reize, direct angebracht“.

„Es wird also die Reizbarkeit der Muskelsubstanz, den schnell verlaufenden Einzelschlägen gegenüber, früher tief herabgesetzt als diejenige der nervösen Gebilde. Man kann also gewissermaassen sagen, dass der Muskel bei Einzelreizen schneller ermüdet als die motorischen Nervenendigungen. Darin aber, dass der Muskel, vom Nerven aus gereizt, noch reagirt, kann man jedoch ohne Zweifel einen Beweis dafür sehen, dass er nicht vollständig erschöpft ist, dass nur die Art der directen Reizung mit Einzelschlägen ihm nicht mehr passt.“

Bei den Versuchen wurde als Elektrizitätsquelle ein Lécianché-Element benutzt. Die Oeffnungsschläge eines Du Bois-Reymond'schen Schlitteninductoriums wurden dem Präparate etwa jede zweite Secunde zugeführt, die Schliessungsschläge mit Hülfe eines Ludwig-

¹ Der Redaction am 15. December 1900 zugegangen.

² *Dies Archiv.* 1895. Bd. V. S. 394 bis 406.

Baltzar'schen Stromunterbrechers automatisch abgeblendet. Aus diesen Angaben geht mit Wahrscheinlichkeit hervor, dass die reizenden Ströme auch bei 0^{cm} Rollenabstand ziemlich schwach waren.

Neulich hat F. Schenck¹ Beobachtungen veröffentlicht, die ein gerade entgegengesetztes Resultat gegeben haben. Er erwähnt in der Einleitung zu diesem Abschnitte seiner Arbeit, dass Professor Fick in Würzburg einmal im Colleg den besprochenen Versuch demonstirt hat, und zwar mit dem von mir angegebenen Erfolg — das vom Nerven aus ermüdete Präparat reagierte bei indirecter Reizung besser als bei directer.

Unter der Leitung Schenck's hat Dr. Gottlieb Wulff meine Angabe nachgeprüft und ist — wie erwähnt — zu einem ganz entgegengesetzten Ergebniss gelangt. Zwei Grove'sche Elemente waren die Elektrizitätsquelle. Durch welche Vorrichtung die Schliessungsinductionsschläge abgeblendet wurden, ist nicht angegeben; die Oeffnungsinductionsreize wurden jede Secunde dem Nerven zugeleitet. Die Reizstärke bei 0^{cm} R.-A. war sicherlich eine recht beträchtliche. In Bezug auf die benutzte Froschart hat mir Herr Dr. Schenck privat mitgetheilt, dass die Versuche an Esculenten ausgeführt wurden.

Das Verfahren war ungefähr dasselbe wie bei meinen Versuchen. Nachdem das Präparat bei einer Reizstärke, die eben maximale Zuckungen gab, vom Nerven aus in hohem Grade ermüdet worden war, wurden mit 0^{cm} R.-A. die Reactionen bei indirecter und directer Reizung unter einander verglichen, und stets der Erfolg bei directer Reizung überlegen gefunden — d. h. die Nervenendigungen ermüdeten früher als die Muskelsubstanz. — Auch bei Ermüdung nach isometrischen Zuckungen blieb das Resultat dasselbe.

Nach der Anführung dieser Versuchsergebnisse fährt Schenck fort: „Falls man das Präparat durch Reizung vom Nerven aus ermüdet mit Reizen, die für die indirecte Reizung gerade maximal sind, und nun am ermüdeten Präparat die directe und indirecte Erregbarkeit prüft bei einem Rollenabstand, bei dem der unermüdete Muskel gerade maximale Zuckungen gab, wenn der Strom direct durch ihn geleitet wurde, so findet man nun manchmal die indirecte Erregbarkeit gleich oder gar grösser als die directe. Man könnte demnach meinen, dass die Angaben Santesson's mit dem schwächeren Reiz eher zu bestätigen sind, als mit dem starken. Doch ist hiergegen eins einzuwenden.

¹ F. Schenck, Kleinere Notizen zur allgemeinen Muskelphysiologie. Pflüger's *Archiv*. 1900. Bd. LXXIX. S. 333 bis 359 — besonders die Abth. 1. S. 333 bis 336.

Die scheinbar directe Reizung des Gastrocnemius mit eben maximalem Reiz ist nämlich in Wirklichkeit . . . eine indirecte. Wenn wir also die „directe“ und indirecte Erregbarkeit prüfen mit einem Rollenabstand, der für die scheinbar directe Erregung des unermüdeten Muskels eben maximal war, so reizen wir in Wirklichkeit beide Male den Muskel indirect, nur ist der Reizort und die Stromdichte in beiden Fällen verschieden. Bei solch geringer Reizstärke können wir also nicht sicheren Aufschluss über den Unterschied der directen und indirecten Erregbarkeit erhalten.“

Wenn man die sicherlich bedeutend verschiedene Stärke der bei meinen und bei Schenck-Wulff's Versuchen benutzten Elektrizitätsquellen berücksichtigt, liegt der Gedanke sehr nahe, dass vielleicht bei meinen Versuchen, auch bei 0^{cm} R.-A., die Reize so schwach waren, dass sie unterhalb derjenigen Grenze lagen, wo die Reize bei unermüdetem Präparat eben die Muskelsubstanz selbst maximal beeinflussen oder überhaupt reizen. Die folgenden Versuche zeigen, dass die Sache nicht so einfach liegt.

Im Mai 1900 führte Cand. med. E. Cederlöw unter meiner Leitung eine Versuchsreihe zur Controle aus. Die Anordnung war dieselbe wie bei meinen früheren Versuchen. Als Versuchsthiere wurden sowohl Temporarien als Esculenten benutzt, und sie gaben sämmtlich übereinstimmende Resultate. Als Elektrizitätsquelle diente meistens 1, nur einmal 2 Léclanché'sche Elemente. Das Präparat wurde stets bei 10^{cm} R.-A. vom Nerven aus ermüdet, was eine Zeit von 8 bis 51 Minuten in Anspruch nahm; dann wurde mit 0^{cm} R.-A. die Reaction sowohl bei indirecter, als bei directer Reizung geprüft, wobei die directe Muskelreizung sich stets mehr wirksam erwies. Auch wenn die Ermüdung dahin getrieben wurde, dass bei indirecter Reizung überhaupt keine Reaction mehr entstand, traten bei directer Muskelreizung doch deutliche, wenn auch kleine Zuckungen hervor. Das Resultat blieb unverändert auch bei grosser Belastung des Muskels (100^g). Diese ersten Versuche stützten also die Angaben Schenck's.

Die bei diesen Versuchen benutzten Frösche waren vom vorigen Herbst, die Temporarien im Eisschrank, die Esculenten im Kellerraum aufbewahrt; sie waren natürlicher Weise abgemagert und schwach. Ob dieser Umstand auf das Resultat eingewirkt hat, lässt sich wohl nicht sicher entscheiden; doch scheint dies nicht unwahrscheinlich, da — wie aus dem Folgenden hervorgeht — die Versuche mit frischen Herbstfröschen zum Theil anders ausfielen.

Bei den im Herbst 1900 von E. Cederlöw angestellten Ver-

suchen wurde vor Allem die Stärke der Elektrizitätsquelle variirt, indem sowohl 1 und 2 Léclanché-, als auch — wie bei Schenck-Wulff's-Versuchen — 2 Grove-Elemente benutzt wurden. Meistens wurden, wie früher, Oeffnungsinductionsschläge benutzt. Mehrmals nachdem das Präparat vom Nerven aus beinahe ermüdet war, wurden die Elektroden tiefer an den Nerven (dem Muskel näher) gerückt, meistens ohne das Resultat zu beeinflussen. Auch wurde zuweilen der Muskel selbst direct bis zur Ermüdung gereizt.

Von grosser Bedeutung für die Beurtheilung der hier bearbeiteten Frage ist es, zu entscheiden, bei welcher Reizstärke die Muskelsubstanz selbst maximal reagirt. Dies wurde nach vollständiger Curaresirung der Frösche mehrmals mit den verschiedenen starken Elementen ausprobiert. Das Resultat geht aus folgender Tabelle hervor.

Tabelle I.

Elemente	Froschart	R.-A. cm	Effect
1 Léclanché	Temporaria	{ 11 0	minimale Zuckung maximale „
1 „	Esculenta	{ 10 4—5	minimale „ maximale „
2 „	„	7	„ „
2 „	Temporaria	8	„ „
2 „	„	7	„ „
2 Grove	Esculenta	14	„ „
2 „	Temporaria	13	„ „

Nach diesen Bestimmungen liegt die Grenze, wo die Muskelsubstanz, direct gereizt, maximale Zuckungen giebt, mit 1 Léclanché (und der von uns sonst benutzten Anordnung) etwas wechselnd, um 0 bis 5^{cm} R.-A., mit 2 Léclanché um 7 bis 8^{cm}, mit 2 Grove bei 13 bis 14^{cm}. Wo die Reizstärke oberhalb dieser Grenzen gelegen hat (d. h. der Rollenabstand geringer gewesen ist), haben die Reize sicher die Muskelsubstanz mit beeinflusst, wenn nicht die Grenze ihrer directen Reizbarkeit während des Versuches so weit verschoben worden war, dass auch diese stärkeren Reize nicht mehr die Musculatur direct, sondern nur indirect durch Vermittelung der nervösen Gebilde in Thätigkeit versetzten. In wie weit dies thatsächlich der Fall gewesen ist, lässt sich natürlich nicht entscheiden. In solchem Falle

aber hätte man wohl Recht, zu behaupten, dass die Muskelsubstanz stärker als die Nervenendigungen ermüdet gewesen wäre.

Besonders klar geht die Sache aus solchen Versuchen hervor, wo der eine Oberschenkel des Frosches unterbunden, und dann das Thier curaresirt wurde. An dem curaresirten Muskel wurde die Grenze bestimmt, wo die direct gereizte Muskelsubstanz des Thieres maximale Zuckungen gab, und dann wurde am geschützten Schenkel desselben Thieres nachgesehen, ob, nach stattgefundener Ermüdung vom Nerven aus, noch bei einer Reizstärke, die oberhalb der erwähnten Grenze lag, die indirecte oder die directe Reizung ein besseres Resultat gab.

Nach diesen Vorbemerkungen theile ich in der folgenden Tab. II die Resultate der im Herbst 1900 ausgeführten Versuche mit; + bedeutet, dass das betreffende Gebilde, Muskel oder Nerv, überlegen gewesen ist, d. h. dass das Präparat bei directer oder bei indirecter Reizung weniger ermüdet war.

Tabelle II.

Nummer und Datum des Versuchs	Frosch- art	Art u. Zahl der Elem.	Rollen- abstand	Dauer der Reizung in Minut.	Ueberlegen- heit des		Bemerkungen
			ccm		Musk.	Nerv.	
1. 10. Octbr.	Tempor.	2 Lécl.	a) 10 b) 0	61 —	— +	— —	
2. 11. Octbr.	"	2 "	a) 10 b) 0	54 61	— +	— —	
3. 12. Octbr.	"	2 "	a) 10 b) 0	45 51	— +	— —	
4. 15. Octbr.	"	2 "	a) 10 b) 0	25 1	— +	— —	Umgekehrte Rich- tung des Stromes im Nerven.
	"	1 "	c) 10 d) 0	— —	— +	— —	
5. 16. Octbr.	"	1 "	a) 10—20 b) 9 c) 0	14 124 —	— + +	— — —	
6. 17. Octbr.	"	1 "	a) 14.5—11 b) 0	93 —	— —	— +?	Stromrichtung wie früher.
7. 22. Octbr.	"	1 "	a) 8—5 b) 0	15 —	— —	+ +	
	"	2 "	c) 0	47	+	—	
8. 24. Octbr.	"	1 "	a) 17 b) 0	38 8	— +	+ —	Schliessungs-Induc- tionsschläge (nur in diesem Vers.).
	"	2 "	c) 0	56	+	—	

Tabelle II. (Fortsetzung.)

Nummer und Datum des Versuchs	Frosch- art	Art u. Zahl der Elem.	Roll- abstand cm	Dauer der Reizung in Minut.	Ueberlegen- heit des		Bemerkungen
					Musk.	Nerv.	
9. 25. Oct	Tempor.	1 Lecl.	a) 17—12 b) 0 c) 11 d) 0	20 — — —	— — minim. Zuck. maxim. „	— + — —	Linkes Bein un- terb., Curare. Rechtes Bein (curaresirt).
10. 7. Nov.	Esculenta	1 „	a) 13.5—5 b) 0	17 —	— +	+ —	Muskelreizung vom Anfang an.
11. 8. Nov.	„	1 „	a) 14—12 b) 2 c) 0	14 — —	— — +	+ + —	
12. 9. Nov.	„	2 „	a) 7 b) 5—6 c) 0	15 — —	— beide gleich +	+ — —	
13. 12. Nov.	„	1 „	a) 5 b) 7.5	17 —	+	—	
14. 14. Nov.	„	1 „	a) 15—3 b) 0	50 82	— bein. gleich	+ —	
15. 17. Nov.	„	2 „	c) 0	18	„	„	
		1 „	a) 10—0 b) 0	16 30	— —	+ +	
		2 „	c) 0	25	—	+	Ermüdung bei dir. Muskelreizung.
16. 23. Nov.	Tempor.	2 „	a) 20—6 b) 0	30 35	— —	+ +	
17. 24. Nov.	„	2 „	a) 15—7 b) 6—0	37 29	— —	+ +	
18. 29. Nov.	„	2 „	a) 14—0 b) 0 c) 0	89 17 10	— ungef. gleich —	+ — +	Linkes Bein un- terb. Curare. Der Nerv tiefer un- ten gereizt. Dir. Muskelreizung; der Muskel reag. dabei zuletzt gar nicht. Zuckungen vom Nerven.
19. 20. Nov.	Esculenta	2 Grove	d) 7 a) 42—20 b) 20—0	— 35 —	maxim. Zuck. ungef. gleich +	— — —	Recht. Bein cu- raresirt Tetanus vom Mus- kel bei 0 ^m .
20. 20. Nov.	„	2 „	a) 42—16 b) 16—0	74 13	+ +	— —	Ermüdung bei dir. Muskelreizung.
21. 21. Nov.	Tempor.	2 „	a) 42—20 b) 13—0	39 78	ungef. gleich +	— —	Bei 0 ^m Tetani.

In der Tab. II sind die Versuche, mit Ausnahme von Versuch 19 bis 21 (mit Grove's Elementen), nach der zeitlichen Reihenfolge geordnet. Eigenthümlicher Weise sieht es so aus, als ob in den später (Mitte bis Ende November) ausgeführten Versuchen, diejenigen mit Grove's Elementen immerfort ausgenommen, die indirecte Reizung durchgehends überlegen gewesen wäre; in dem früher ausgeführten Theil der Reihe ist das Resultat gerade umgekehrt. Dieser Unterschied lässt sich wohl kaum als Folge einer Veränderung der Frösche erklären, auch ist er offenbar von der Froschart unabhängig, da Temporarien in Versuch 16 bis 18 anders reagiren, als in Versuch 1 bis 5, Esculenten anders in Versuch 13 bis 15, als in Versuch 10 bis 12. Möglicher Weise hängt der Umschlag mit einer allmählich zunehmenden Schwäche der Léclanché'schen Elemente zusammen.

Dass mehrere der hier angeführten Versuche die Angaben Schenck's stützen, geht aus dem ersten Blick auf die Tab. II hervor. So ist es unbedingt mit den Versuchen 1 bis 5, 8, 10, 12, sowie 19 bis 21 (mit Grove) der Fall. Für meine Meinung sprechen Versuch 6 (vielleicht), 9 und 15 bis 18. Die Versuche 7, 11, 13 und 14 stehen auf der Grenze.

Wenn wir hier zunächst die zweite Gruppe (Versuch 6 (?), 9 und 15 bis 18), die uns am meisten interessirt, näher betrachten, so finden wir, dass die zuletzt vorgenommene, vergleichende Prüfung der indirecten Reizung mit der directen stets mit einer Reizstärke erfolgte, welche (beim unermüdeten Präparat) eine maximale Zuckung auch des curaresirten Muskels hätte hervorrufen können. Mit Léclanché können solche Zuckungen wenigstens bei 0^{cm}, zuweilen auch bei 4 bis 5 cm R.-A. erzielt werden (vgl. Tab. I, sowie den Versuch 9); mit 2 Léclanché liegt diese Reizstärke etwa bei 7 bis 8^{cm} R.-A. — Die Versuche 6 (?), 7, 9 und 15 zeigen mit 1 Léclanché und 0^{cm} R.-A. eine Ueberlegenheit der indirecten Reizung, ebenso die Versuche 15 bis 18 bei 2 Léclanché und 0^{cm} R.-A.

Von besonderem Interesse ist der Versuch 18; der eine curaresirte Muskel gab (mit 2 Léclanché und) 7^{cm} R.-A., direct gereizt, maximale Zuckungen. Der andere, durch Unterbindung der Weichtheile am Oberschenkel vor dem Curare geschützte Muskel gab nach Ermüdung (mit 2 Léclanché) und 0^{cm} R.-A., indirect gereizt, grössere Zuckungen. Zuletzt reagirte der direct gereizte Muskel gar nicht, während bei indirecter Reizung noch deutliche Zuckungen hervortraten. In einem solchen Falle lässt sich wohl sagen, dass die Muskelsubstanz für die gewählten, anfangs absolut sicher wirksamen Reize stärker ermüdet war, als die nervösen Gebilde.

Ich gebe gern zu, dass die Art, diese Frage zu prüfen, eine un-

vollkommene ist, dass wegen des verschiedenen Querschnittes der beiden gereizten Organe, des Nerven und des Muskels, jener immer stärker beeinflusst wird, als dieser. Darin liegt ja eben der Grund des anscheinend paradoxen Verhaltens, dass zuweilen — wie hier — der indirect gereizte Muskel noch reagirt, der mit demselben Strom direct gereizte aber nicht (oder schwächer). Und dabei ist es gleichgültig, ob bei der directen Reizung nur die im Muskel verbreiteten nervösen Gebilde, oder gleichzeitig auch die Muskelsubstanz selbst gereizt wird. Auch die intramusculären Nervenfasern und die motorischen Endorgane werden durch die Verbreitung der Elektrizität in dem dickeren Leiter weniger energisch beeinflusst, als die Nervenfasern im direct gereizten Nervenstamme (Ischiadicus).

Wenn wir aber mit der hier erwähnten Reservation von einem Vergleich des Ermüdungsgrades der Nervenorgane und des Muskels sprechen, und als Zeichen einer stärkeren Ermüdung die schwächere Reaction bei indirecter, resp. bei directer Reizung des Präparates auffassen — natürlich unter der Voraussetzung, dass die Reize so stark sind, dass sie auch die (unermüdete) Muskelsubstanz zu maximalen Zuckungen bringen können — so lässt sich nicht leugnen, dass zuweilen die Muskelsubstanz früher als die nervösen Apparate ermüdet wird. Oft fällt aber das Resultat gerade umgekehrt aus.

Ueber die Bedingungen, unter welchen das Resultat in die eine oder die andere Richtung geht, lässt sich wohl nicht ganz Sicheres aussagen; vielleicht spielen hier individuelle Eigenschaften der Präparate mit. So viel scheint aus den Versuchen hervorzugehen, dass schwache Reize bei der Ermüdung, sowie auch ziemlich schwache oder mässige (doch natürlich genügend effective, siehe oben) Reize bei der schliesslichen Prüfung des Resultates die Ueberlegenheit der nervösen Gebilde bis zu gewissem Grade begünstigen, während starke Reize (z. B. 2 Grove, 0^{cm} R.-A.) immer eine Ueberlegenheit der Muskelsubstanz hervortreten lassen.

Es findet offenbar als Folge der Ermüdung eine stetige Verschiebung der Reizbarkeits- und der Leistungsfähigkeitsgrenze sowohl für die Nervenendorgane, als für die Muskelsubstanz statt. Diese Grenzwerte scheinen im Ganzen sich ziemlich parallel zu bewegen, und es hängt von allerlei zufälligen Umständen ab, wie das Resultat der indirecten und der directen Reizung sich entfaltet.

Man könnte gegen diese Auffassung den Einwand erheben, dass die Prüfung bei genügend starken Reizen (2 Grove, 0^{cm} R.-A.) doch immer zu Gunsten der Muskelsubstanz ausfällt. Hier kommt aber

noch ein Factor mit ins Spiel: Reize solcher Stärke greifen die betreffenden Gebilde sehr stark an. Wenn das Präparat schon vorher beinahe erschöpft ist, genügen vielleicht einige wenige so starke Reize, um die allerlei Schädlichkeiten gegenüber empfindlicheren Gebilde, die motorischen Nervenendapparate, todt zu schlagen. Es scheint mir also besser, so zu sagen mehr physiologisch, die Prüfung mit mässig starken, an sich weniger schädlich wirkenden Reizen auszuführen.

Zuletzt sei darauf kurz hingewiesen, dass einige Variationen in der Versuchsanordnung das Resultat nicht beeinflussen, so z. B. eine veränderte Richtung des reizenden Stromes im Nerven (Tab. II, Versuch 4), und die Anwendung von Schliessungs- statt Oeffnungsreizen (Versuch 7). In Versuch 10 wurde das Präparat vom Anfang, in Versuch 15 von der 17. Minute an durch directe Muskelreizung ermüdet. Das Resultat geht in den beiden Versuchen in verschiedene Richtungen; diese Modifikation des Verfahrens wirkt also auch nicht bestimmend auf den schliesslichen Effect der Reizung.

Hier oben habe ich die Frage nach der Ermüdbarkeit der Nervenendapparate und der Muskelsubstanz mit der einzigen uns jetzt zu Gebote stehenden, unvollkommenen Methode zu beleuchten versucht, nämlich durch einen Vergleich zwischen dem Effect der indirecten und der directen Reizung, und dabei gefunden, dass zuweilen die Muskelsubstanz, oft aber, und vor Allem bei starken Prüfungsreizen, die motorischen Nervenendapparate früher ermüden.

Dieses letzterwähnte Resultat stimmt wohl am besten mit der allgemeinen Auffassung, die in dem Nervenendapparate empfindlichere Gebilde als in der Muskelsubstanz sieht. So zeigen sich z. B. jene einer sehr grossen Zahl von Giften (den curareähnlich wirkenden Stoffen) gegenüber mehr oder weniger empfindlich, während die directen Muskelgifte lange nicht so zahlreich sind, und zum Theil aus stark local wirkenden Körpern bestehen, die in nicht zu schwacher Concentration alles lebende Protoplasma rasch tödten. Wenn man die Ermüdung als eine Vergiftung durch Stoffwechselproducte betrachtet, die bei der Thätigkeit der Organe (hier der Muskeln) entstehen, liegt thatsächlich der Gedanke am nächsten, dass es sich in erster Linie um eine curareähnliche Wirkung handeln könnte. Versuche von Abelous¹ sprechen bekanntlich dafür.

Stockholm, im December 1900.

¹ Abelous, *Archives de physiol.* 1893. 3.

Kurze pharmakologische Mittheilungen.¹

Von

C. G. Santesson und E. Cederlöw.

(Aus der pharmakologischen Abtheilung des Carolinischen Instituts
zu Stockholm.)

Enthält das *Secale cornutum* Eiweiss?

Die Chemie des *Secale* ist bekanntlich der Gegenstand einer grossen Menge eingehender Arbeiten gewesen, und sie scheint um so mehr verwickelt zu werden, je mehr sie bearbeitet wird. Die vollständige Lösung eines schweren und interessanten wissenschaftlichen Problems, wie die Chemie und die Pharmakologie des *Secale*, ist ja einerseits an sich ein genügendes Ziel der Forschung; andererseits macht es von praktischem Gesichtspunkt aus einen geradezu tragischen Eindruck zu beobachten, wie Chemisten und Pharmakologen noch das Thema mit unermüdlichem Eifer bearbeiten, während die Aerzte, bei uns wenigstens, mehr und mehr von dem Gebrauch des *Secale* fortkommen.

Der Anlass dazu, dass die unten mitgetheilten Versuche ausgeführt wurden, war folgender. Bekanntlich beschreibt man meistens unter den Wirkungen des *Secale* (des Sphacelotoxins nach Schmiedeberg-Jacob's Nomenclatur) eine starke Gefässcontraction, die in einzelnen peripherischen Gefässgebieten, besonders bei gewissen Thieren (Hahn, Schwein, Mensch), so weit gehen und so lange dauern kann, dass sowohl der Inhalt als die Wand der Gefässe einer eigenthümlichen hyalinen Trombose anheimfällt (v. Recklinghausen); hierdurch wird die Blutzufuhr dauernd gestört und der bekannte *Secalebrand* eingeleitet.

¹ Der Redaction am 2. Januar 1901 zugegangen.

Eine Sache scheint doch unklar. Ich sehe hier zunächst ganz davon ab, dass Jacobj die starke Gefässcontraction mit der bedeutenden Blutdruckerhöhung für das sphacelotoxinhaltige Chrysotoxin nicht bestätigen konnte.¹ Wie ist es aber möglich, dass die Gefässcontraction zu einer Trombose führt? So etwas kommt doch sonst nie vor. Oder, wenn auch der starke Gefässkrampf problematisch ist — wie entsteht die Trombose?

Hier liegt wohl der Gedanke am nächsten, dass die Secale-droge irgend ein Agens enthalten könnte, das entweder das Blut oder die Gefässwand oder beide in der Art verändert, dass — besonders in gewissen Gefässgebieten, wo der Blutstrom langsam fliesst — eine Trombose entsteht. Vielleicht ist dieses Agens mit dem Sphacelotoxin oder mit irgend einem anderen der vorher bekannten, mehr oder weniger gut charakterisirten Bestandtheile des Secale identisch. Es wäre aber auch möglich, dass hier irgend ein Gift für die rothen Blutkörperchen, wie Ricin und Crotin, also ein giftiger Eiweisskörper oder ein gewissen Eiweisskörpern energisch anhaftendes Gift, gefunden werden könnte.

Aus diesen Ueberlegungen entstanden die Fragen: Enthält das Secale Eiweiss? Lässt sich dieses Eiweiss isoliren? Ist es giftig und kann es möglicher Weise die Trombose verursachen?

Die erste der eben erwähnten Fragen — enthält das Secale Eiweiss — haben wir hier zu beantworten versucht. — Unter den Bestandtheilen des Secale findet man in den Handbüchern meistens auch Eiweiss erwähnt. Nähere Angaben über dieses Eiweiss habe ich doch in der Literatur nicht finden können. Flückiger² erwähnt ganz kurz, dass ein wässriger Auszug der Droge beim Kochen gerinnt und dass von den etwa 3 Proc. Stickstoff, die im Secale vorkommen, wohl der grösste Theil in Form von Eiweiss darin enthalten ist. Diejenigen Forscher, welche die Secalechemie eingehender bearbeitet haben, beschäftigten sich dagegen nicht mit dem Eiweiss.³ Das Suchen nach

¹ C. Jacobj, *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* 1897. Bd. XXXIX. S. 130 u. folg.

² F. A. Flückiger, *Pharmakognosie des Pflanzenreichs*. 3. Aufl. Berlin 1891. S. 294.

³ Der Herr Sanitätsrath C. C. Keller in Zürich hat mir gütigst privat mitgetheilt, dass er nur einmal (aus frischem spanischem Secale) ein beim Kochen gerinnendes Extract gesehen hat. Das Gerinnsel hat er nicht näher untersucht, nahm aber an, dass es aus Eiweiss bestand. Sonst ist ihm Eiweiss im Secale nicht begegnet. — Vielleicht enthält das Secale nur zufälligerweise gerinnbares Eiweiss oder dieses lässt sich meistens nur schwer und in kleinen Mengen extrahiren.

anderen, chemisch und toxikologisch interessanteren Körpern hat ihre Aufmerksamkeit in andere Richtungen gelenkt, und wenn bei der Arbeit auch Eiweiss ihnen begegnet ist, haben sie dasselbe — ohne es zu erwähnen, vielleicht sogar ohne es zu bemerken — als eine lästige Verunreinigung beseitigt. Dass das Eiweiss so wenig Beachtung gefunden hat, kann auch, wie unsere Versuche zeigen, darin begründet sein, dass es thatsächlich sehr schwer ist, diesen Bestandtheil einwandfrei nachzuweisen.

Da es, wie oben erwähnt, uns nicht ohne Interesse erschien, nachzusehen, wie es sich mit dem Eiweiss des *Secale* verhält, hat Stud. medic. E. Cederlöw unter meiner Leitung in dem hiesigen physiologischen Laboratorium während des Arbeitsjahres 1899—1900 eine Anzahl Versuche angestellt, um diese Frage zu lösen. Dass diese Arbeit ziemlich lange Zeit und recht viel Material in Anspruch nahm, hing mit dem Umstand zusammen, dass, wie eben angedeutet, es lange Zeit unmöglich schien, einwandfreie Eiweissreactionen zu bekommen. Wegen des sehr festen Baues der Droge, sowie wegen des bedeutenden Fettgehaltes derselben ist die Extraction des Eiweisses sehr erschwert und, wenn es einmal extrahirt worden ist, machen die zahlreichen übrigen, gleichzeitig extrahirten Bestandtheile der Droge den Nachweis des gesuchten Körpers recht schwer und unsicher. Unsere Erfahrung lehrt doch, dass vor Allem die Extraction des Eiweisses Schwierigkeiten bereitet, und dass man bei dieser Procedur leicht in einen *circulum vitiosum* hineinkommt, indem einerseits die anfängliche Extraction des Fettes die folgende Ausholung des Eiweisses in hohem Maasse befördern würde, während andererseits die lange dauernde Behandlung des Drogenpulvers mit Aether oder mit Aether und Alkohol die Lösung des Eiweisses immer schwieriger macht. Ich werde natürlichweise nicht auf alle unsere misslungenen Versuche näher eingehen; doch glaube ich, dass ein kurzer Ueberblick auch dieser Experimente zu der Charakteristik des *Secale*eiwisses mit gehört.

Ehe wir auf die Hauptsache übergehen, ist es zweckmässig, zuerst die Frage über den Stickstoffgehalt des *Secale* zu berühren. Wir können in der Beziehung die eben erwähnte Angabe Flückiger's bestätigen und haben sogar meistens einen etwas höheren N-Procent gefunden, wie aus folgenden Zahlen hervorgeht. Die Bestimmungen sind nach Kjeldahl's Methode an verschiedenen Proben fein gepulverter und bis zur Gewichtsconstanz über Schwefelsäure getrockneter Droge ausgeführt; ausser der concentrirten Schwefelsäure wurden bei der Verbrennung etwas Kupfersulfat und Kaliumsulfat hinzugefügt, wodurch die Reaction entschieden beschleunigt wurde.

Stickstoffgehalt getrockneter Secaledroge.

Substanz g	N-Gehalt g	N-Procent
Ia. 1.5	0.0525	3.502
Ib. 1.0	0.0350	3.503
Ic. 1.0	0.0350	3.503
IIa. 1.0	0.0348	3.480
IIb. 1.0	0.0346	3.460
IIIa. 0.5	0.0165	3.290
IIIb. 0.5	0.0166	3.320

Der mittlere Stickstoffprocent ist also nach diesen Bestimmungen 3.3657 oder rund 3.4 Proc. Dieser ziemlich hohe N-Gehalt ist daher von Bedeutung, dass er, wie Flückiger schon hervorhob, das Vorhandensein von Eiweiss nicht unwahrscheinlich macht. Bei unserem Suchen nach Eiweiss haben wir mehrmals mit Hilfe der Kjeldahl'schen Methode nachgeforscht, wo das Stickstoff zu finden war — im Extracte oder in dem extrahirten Pulver, in einer Lösung oder im Niederschlage — wobei wir die eben erwähnte Procentzahl zu Grunde der Schätzung legten.

Um zu zeigen, wie verschieden das Resultat der Extractionen mit verschiedenen Lösungsmitteln sich gestaltete und wie unvollständig der Stickstoff doch immer ausgezogen wurde, mögen folgende Zahlen beispielsweise angeführt werden:

Substanz- menge g	Extractionsmittel	Extrahirtes N-Procent
10	Wasser	1.4
50	Barytlösung, gesättigt	1.3
75	{ Aether einmal, Koch- salzlösung (5%) zweimal }	0.6
10	Aether	0.4

Das Uebrige, 2 bis 3 Proc., blieb im Secalepulver ungelöst zurück.

Einige ganz grobe Bestimmungen des Fettgehaltes können noch hinzugefügt werden; das Fett wurde während mehrerer Tage im Extractionsapparat mit Aether herausgezogen.

In 20 ^g gepulv. Secale	9 ^g Aetherextract
„ 20 „ „	8.85 „
„ 25 „ „	12 „
„ 22.5 „ „	9.75 „

Im Durchschnitt betrug also das Aetherextract etwa 45.6 Proc. der bearbeiteten Droge; der grösste Theil dieses Extractes bestand wohl aus Fett.

Nach diesen Vorbemerkungen gehen wir dazu über, die verschiedenen Versuche, das Eiweiss nachzuweisen, und ihre Resultate vorzuführen. Da die erste Prüfung (Vers. 1) ein entschieden positives Resultat zu geben schien, wurden Versuche gemacht, eine Methode zu finden, um das Eiweiss möglichst zu isoliren. Viele der folgenden Proben wurden zu diesem Zweck ausgeführt, gaben aber in Bezug auf das Vorhandensein des Eiweisses ein oft unsicheres Resultat, bis endlich zuletzt die Prüfungen wieder entschieden positiv ausfielen. Um nicht bei fast jedem Versuche dieselben Proben wiederholt aufzählen zu müssen, habe ich die Resultate derselben kurz tabellarisch zusammengestellt und die verschiedenen Prüfungen mit Nummern versehen, die zu den verschiedenen verticalen Reihen der Tabelle hinweisen. Je nach den angewandten Extractionsmitteln sind die Versuche in Gruppen vertheilt.

A. Extraction mit Wasser.

1. 10^g Secalepulver mit 50^g Wasser extrahirt; vgl. Tab. A. I.

2. 70^g Secale mit 400^g Wasser extrahirt; Aussalzung mit Ammonsulfat in Substanz, Lösung des Niederschlages, Dialyse. Eiweisssproben, siehe Tab. A. IIa. — Der Rest der Flüssigkeit im Dialysator mit Alkohol gefällt, der Niederschlag gelöst — Proben Tab. A. IIb.

B. Extraction mit schwachem Alkali.

3. 20^g Secale mit schwachem Alkali digerirt; schwache Ansäuerung mit Essigsäure und Kochen: Coagulation; vgl. Tab. A. III. (Nur bei den Proben 1 und 3 gab das Kochen positives Resultat, sonst nie).

4. 30^g Secale mit schwachem Alkali extrahirt; Fällung mit Alkohol — grosser, in Wasser unlöslicher Niederschlag (nicht weiter untersucht). Filtrat eingeeengt, angesäuert; dabei entstehende kleine Flocken — nicht Eiweiss. — Ein anderer Theil des alkalischen Extractes wie bei 2. mit Ammonsulfat in Substanz behandelt; Resultat Tab. A. IV — fast vollständig negativ.

5. Extraction mit schwacher Natronlauge, Aussalzen wie bei 2. Prüfung der Flüssigkeit im Dialysator (nach Hammarsten's Lehrb. d. physiol. Chemie) auf Gobulin und Mucin — negatives Resultat.

6. 50^g Secale mit schwacher Sodalösung extrahirt; Aussalzen wie bei 2. Die Dialysatorflüssigkeit wurde mit überschüssigem Alkohol gefällt, die schwach salzsaure Lösung des sparsamen Alkoholniederschlages auf Eiweiss geprüft — siehe Tab. A. V.

C. Extraction mit Neutralsalzlösungen.

7. 50^s Secale mit 5 Proc. Ammonsulfatlösung extrahirt; Aussalzen mit demselben Salze wie bei 2. Die Flüssigkeit im Dialysator, schwach angesäuert (Essigsäure) und mit etwas Kochsalz versetzt, wurde mit Alkohol gefällt; der Niederschlag gelöst und geprüft — siehe Tab. A. VI. — Dasselbe Resultat ergab Extraction mit 10 Proc. Kochsalz. (Bei dieser Probe wurde ein Versuch gemacht, den Stickstoff mit Hilfe der Kjeldahl'schen Methode zu folgen: Im ursprünglichen Secale — 3.36 Proc. N, in dem mit Kochsalz extrahirten Pulver — 2.16 Proc.; extrahirt also 1.2 Proc. Beim Aussalzen ging in den Niederschlag nur etwa 0.32 Proc. über; in der Lösung blieb dabei 0.88 Proc.).

D. Extraction mit starker Säure.

Nach Angabe von Winterstein¹ sollen entweder Salzsäure, 10 bis 20 Proc., oder gesättigte Barytlösung dazu besonders geeignet sein, Eiweiss aus verschiedenen Pilzen auszulösen. Wir haben diese beiden Extraktionsmittel auf das Secale cornutum geprüft und führen hier zunächst ein paar Versuche mit Säure an; über die Barytproben wird im Folgenden berichtet.

8. 10^s Secale mit 20 Proc. Salzsäure (100^{cem}) 4 Tage extrahirt; vgl. Tab. A. VIIa.

9. 10^s Secale; Extraction während 8 Tage (zuletzt in Wasserbadwärme) mit 25 Proc. HCl. Das neutralisirte Filtrat gab keinen Niederschlag. Ansäuerung mit HCl; Phosphorwolframsäure gab einen voluminösen Niederschlag. Zersetzung des Niederschlages mit Barythydrat, Entfernung des Bariumphosphats. Das eingedampfte Filtrat in Wasser gelöst. Proben Tab. A. VIIb.

E. Extraction mit starkem Alkali (gesättigter Barytlösung).

10. 10^s Secale mit gesättigter Barytlösung extrahirt. Der Baryt wurde mit Schwefelsäure entfernt. Bei vollständiger Neutralisation des Filtrats entstand ein flockiger Niederschlag, der bei schwacher Ansäuerung mit Essigsäure sich wieder löste. Eiweissproben, siehe Tab. A. VIIIa. — Ein Theil des Extractes (von Baryt befreit), schwach alkalisch durch Soda, wurde gleichfalls auf Eiweiss geprüft; vgl. Tab. A. VIIIb. — Bei VIIIa wies die Coagulationsprobe die Eigenthümlichkeit auf, dass die schon gekochte Flüssigkeit, welche keine Flocken zeigte, bei Zusatz von Kochsalz einen feinen, weissen Niederschlag hervortreten liess. Dieser Niederschlag wurde weder durch mehr Essigsäure noch bei Verdünnung mit Wasser, noch beim Kochen gelöst. Die Adamkievicz'sche Reaction (VIIIb) war nicht schön positiv, fiel aber auch mit einer Probe von Witte's Pepton eben so schlecht aus.

¹ E. Winterstein, *Zeitschr. f. physiol. Chemie.* Bd. XXVI. 1898—99. S. 438—441.

11. 50^g Secale mit gesättigter Barytlösung gründlich extrahirt. Das durch Schwefelsäure (zur Entfernung des Baryts) saure Filtrat wurde möglichst genau neutralisirt und auf Eiweiss geprüft, siehe Tab. A. IXa.

Der Rest des Filtrates wurde mit Ammonsulfat in Substanz gefällt, der entstehende Niederschlag in Wasser gelöst und dialysirt; die Flüssigkeit im Dialysator gab die Reactionen Tab. A. IXb. Der kleine Niederschlag für Ferrocyankalium mit Essigsäure wurde nicht im Ueberschusse des Reagenzes gelöst. In Bezug auf die wichtige, meistens negative Biuretreaction wurde hier die bedeutungsvolle Beobachtung gemacht, dass dieselbe misslang, auch wenn eine Lösung des Witte'schen Peptons der Secale-Flüssigkeit zugesetzt wurde, obgleich die Peptonlösung ohne Secale eine sehr schöne Biuretreaction gab. Das Secale enthielt offenbar irgend einen Körper (Farbstoff?), der diese Reaction in hohem Grade störte. Der negative oder zweifelhafte Verlauf der Biuretreaction beweist also nicht, dass Eiweiss nicht vorhanden ist.

Ein Rest der Dialysatorflüssigkeit wurde mit Carbo sanguinis zum Zweck des Entfärbens gekocht; die etwas hellere Flüssigkeit, nochmals geprüft, gab die Reactionen Tab. A. IXc. Die Biuretreaction wies eine deutlich röthliche Flüssigkeit auf. Eine zweite Probe, mit 20 Tropfen einer starken Witte'schen Peptonlösung versetzt, gab eine ganz ähnliche Biuretreaction. Man dürfte daher diese Reaction für positiv, wenn auch nicht für schön erklären können.

F. Entfettung mit Aether, dann Behandlung mit verschiedenen Extractionsmitteln.

12. 10^g Secale; dreitägige Extraction mit erneuerten Aethermengen, dann Digestion mit Wasser (40° C.); vgl. Tab. A. Xa.

13. 47.5^g Secale; zweitägige Aetherextraction (im Extractionsapparate), dann fünftägiger Wasserextraction. Eiweissproben — siehe Tab. A. Xb.

14. 25^g Secale; Aether wie bei 12., dann eben so lange dauernde Behandlung mit Alkohol; nachher Digestion mit Wasser (etwas Thymol zugefügt) — Eiweissproben, siehe Tab. A. XIa.

Das mit Wasser behandelte Drogenpulver wurde dann mit gesättigter Barytlösung extrahirt; nach Entfernung des Baryts wurde mit der neutralen oder ganz schwach sauren Lösung Eiweissproben ausgeführt, siehe Tab. A. Xib.

Ein Theil der eben behandelten Flüssigkeit wurde mit NaCl versetzt und mit überschüssigem Alkohol gefällt, der mächtige, flockige Niederschlag in Wasser gelöst und die Lösung auf Eiweiss geprüft — siehe Tab. A. XIc.

Ein zweiter Theil der bei Xib geprüften Lösung wurde mit Ammonsulfat in Substanz behandelt, der Niederschlag in Wasser mit etwas Essigsäure gelöst und direct (ohne Dialyse) auf Eiweiss geprüft — Tab. A. XId. (Gerbsäure giebt mit Ammonsulfat allein keinen Niederschlag, Picrinsäure

dagegen einen reichlichen, krystallinischen Niederschlag. Eigenthümlich war die stark positive Biuretreaction.)

15. 50^{*} Secale; gründliche Entfettung (8 Tage), ebenso lange Behandlung mit Alkohol, dann Extraction mit Wasser und nachher mit gesättigter Barythydratlösung; nach Entfernung des Baryts gab die Lösung die Proben, Tab. A. XIIa.

Das mehrmals extrahirte Secalepulver wurde zuletzt mit 7.5 Proc. Salzsäure behandelt; Prüfung Tab. A. XIIb.

16. 47^{*} Secale; Entfettung mit Aether; Barythydratextraction, Entfernung des Baryts, Neutralisation der sauren Lösung, Aussalzen mit Ammonsulfat, Lösung des Niederschlages in Wasser (schwach alkalisch durch Soda), Dialyse, Prüfung der Dialysatorflüssigkeit auf Eiweiss — Tab. A. XIIIa.

17. 20^{*} Secalepulver; fünftägige Entfettung mit Aether in Extractionsapparat. Baryt-extraction. Entfernung des Baryts. Auswaschung des BaSO₄-Niederschlages mit stark verdünnter HCl. Das Filtrat mit überschüssigem Alkohol niederschlagen; der zuerst gelbweisse, flockige, dann braune, schmierige Niederschlag mit Aether gewaschen, dann in Wasser mit brauner Farbe leicht gelöst. Eiweissproben — siehe Tab. A. XIII b.

Eine zweite, ebenso mit Aether extrahirte Probe, die nachher nach Winterstein mit 25 Proc. Salzsäure, Phosphorwolframsäure und Barythydrat behandelt wurde, gab bei Heller's, Millon's und Biuret-Reactionen vollkommen negative Resultate.

18. 20^{*} Secalepulver, mit Wasser übergossen, steht in offenem Gefässe bei Zimmertemperatur etwa 14 Tage, um in Fäulniss überzugehen. Da keine nennenswerthe Veränderung eintrat, wurde die Probe mit Reincultur von *Bacter. proteus* inficirt und in Thermostat (37° C.) während 1 Woche eingesetzt. Nachher der Geruch verändert, scharf, doch nicht faul. Die abfiltrirte Flüssigkeit gab weder direct noch im Alkoholniederschlage (nach Lösung in Wasser) Eiweissreactionen (Heller, Millon oder Biuret).

Das so behandelte Secalepulver wurde 7 Tage (zuletzt in Wasserbadwärme) mit 25 Proc. HCl ausgelaugt. Dann (nach Winterstein) Behandlung mit Phosphorwolframsäure und nachher mit Barythydrat. Das klare, gelbe Filtrat (nach Entfernung von Bariumphosphat und von überschüssigem Baryt in Form von Bariumsulfat) wurde eingengt und auf Eiweiss geprüft — siehe Tab. A. G. XIV.

Aus diesem bunten Gewirr scheinbar einander widersprechender Resultate lassen sich, wie es scheint, gewisse Schlüsse ziehen — erstens derjenige, dass irgend ein eiweissartiger Körper doch wohl im Secale vorhanden ist. Zwar ist die Coagulationsprobe beim Kochen nur gelegentlich zweimal (I und III) positiv ausgefallen, und ich bin nicht im Stande zu erklären, warum nicht wenigstens bei der

Tabelle A. Zusammenstellung
(Die römischen Ziffern, sowie die Buchstaben

Reactionen	A. Extraction mit Wasser			B. Extraction mit schwachem Alkali			C. Extrac- tion mit Neutral- salzlösung	D. Extrac- tion mit starker Säure	
	I.	IIa.	IIb.	III.	IV.	V.	VI.	VIIa.	VIIb.
Coagulation beim Kochen . . .	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Heller's Probe .		+	+ schwach		-	-	-	-	+
Alkohol	+	+ schwach	+		-	-	-		
Millon's Reaction		+?	+		-	-	-	-	-?
Xantoproteinreac- tion		+	+		+	+	-		
Biuretreaction . .		-					-	-	+
Ferrocyankalium .		+	-		-		-		
Picrinsäure . . .		+	-			-	-		
Gerbsäure . . .		+	+			+?	+ schwach	+	
Adamkiewicz' Reaction									
Ammoniumsulfat in Substanz zur Uebersättigung .	+	+							

¹ Versuch, das Eiweiss durch Fäulniss zu lockern, dann Extraction mit Winterstein).

Extraction mit Wasser allein (I bis IIb) diese Probe stets gelang;¹ in den anderen Fällen und besonders wo die Droge mit starkem Alkali oder starker Säure behandelt worden war, dürfte wohl das Eiweiss sich in der Art verändert haben, dass es nicht mehr gerinnen konnte. Da man mit so unreinen Gemischen wie hier zu thun hat, kann wohl das meistens negative Resultat dieser Probe, den zahlreichen positiven gegenüber, nicht als ein Gegenbeweis gegen die Anwesenheit des Eiweisses angeführt werden.

Auch die Biuretreaction fiel meistens negativ aus. Unter Vers. 11 (IXb) oben wurde durch Controlproben mit Witte's Pepton ein Beweis dafür geliefert, dass dieses Verhalten der Biuretreaction von der Gegenwart irgend eines störenden Körpers, vielleicht eines Farbstoffes o. dgl., abhing.

Wenn wir von diesen beiden Lücken absehen, sind in mehreren, in verschiedener Art dargestellten Lösungen sämmtliche Eiweissproben meistens glatt gelungen, so in IIa, VIIIb (IXb?), IXc, XIId, XIIIa und XIV. Das Eiweiss war in diesen Fällen entweder mit Wasser allein, mit starker Barytlösung allein oder mit Barytlösung nach Entfettung durch Aether extrahirt.

Eigenthümlicher Weise gab die directe Extraction der nicht entfetteten Droge mit Wasser verhältnissmässig gute Resultate, dagegen Auszüge mit schwachem Alkali und mit Neutralsalzlösung überwiegend schlechte Ergebnisse. — Das Extract mit starker Salzsäure zeigte, direct geprüft, schlechte Reactionen, nach Winterstein mit Phosphorwolframsäure und Baryt weiter behandelt dagegen bessere. Die directe Wasserextraction nach Entfettung mit Aether fiel wechselnd aus. Meistens hat auch die der Aetherextraction folgende Behandlung mit Alkohol die Resultate mehr oder weniger beeinträchtigt (XIa bis c, XIIa bis b); nur die Prüfungsreihe XIId macht hierin eine Ausnahme. Günstig schien dagegen meistens die Barytextraction, ohne oder mit vorhergehender Entfettung mit Aether (kein Alkohol; vgl. VIIIa und b, IXb und c, sowie XIII). Ein Versuch, das Eiweiss durch Fäulniss zu lockern und in Pepton überzuführen, gelang nicht; aus dem so behandelten Secalepulver wurde nachher mit starker HCl ein Extract gewonnen, womit (nach Winterstein) positive Eiweissreactionen ausgeführt wurden (G XIV).

¹ Spiro (*Zeitschr. f. physiol. Chemie.* Bd. XXX, S. 182) hat neulich darauf hingewiesen, dass u. A. Cholin (bekanntlich ein Bestandtheil des Secale) die Hitze- oder Alkoholcoagulation einer Eiweisslösung theilweise oder gänzlich hindern kann.

Mehrere der positiv verlaufenden Reactionen haben natürlicher Weise an sich, bei der möglichen Gegenwart der Secalealkaloide etc., als Beweis für die Anwesenheit von Eiweiss einen sehr geringen Werth, so z. B. die Proben mit Gerbsäure, Picrinsäure, Ferrocyankalium etc. Wenn sie aber mit Präparaten ausgeführt worden sind, die durch Lösung von Alkohol- oder Ammonsulfat-Niederschlägen entstanden, ist doch ihre Beweiskraft grösser und, zusammen mit allen übrigen positiven Reactionen, wohl recht überzeugend. In Bezug auf die meistens positive Xantoproteinreaction muss hervorgehoben werden, dass vielleicht andere Körper als das Eiweiss (Farbstoffe?) dieselbe hervorrufen können.

Eine nähere Isolirung des Eiweisses schien vorläufig nicht möglich, und die Beantwortung der Frage, ob diesem Eiweiss eine toxische Bedeutung zukommt, müssen wir also bis auf Weiteres ganz dahin stehen lassen.

Stockholm im Januar 1901.

Ueber die Einwirkung des Alkohols auf den Stoffwechsel des Menschen.¹

Von

Doc. Dr. Arthur Clopatz
in Helsingfors.

(Aus dem physiologischen Laboratorium des Carolinischen medico-chirurgischen Instituts in Stockholm.)

Die Frage nach dem Einflusse des Alkohols auf den Stoffwechsel ist in sehr verschiedener Weise beantwortet worden. Nach der Ansicht älterer Forscher wie Tiedemann und Gmelin, Lallemand, Perrin und Duroy u. A. sollte der Alkohol den Thierkörper unverbrannt verlassen. Spätere Untersuchungen, unter welchen vor Allen diejenigen von Binz,² Heubach,³ A. Schmidt,⁴ Bodländer⁵ und Strassmann⁶ zu nennen sind, haben doch die Unrichtigkeit dieser Angaben erwiesen und die Thatsache festgestellt, dass der in den animalen Organismus eingeführte Alkohol zum grössten Theil in demselben verbrannt wird.

Aus den Untersuchungen über die Einwirkung des Alkohols auf den respiratorischen Gaswechsel scheint weiter hervorzugehen, dass der Alkohol einen wirklichen Nährwerth hat, indem er andere Körper-

¹ Bei der Redaction eingegangen am 3. Februar 1901.

² Binz, Die Ausscheidung des Weingeistes durch Niere und Lunge. *Arch. für exp. Pathol. u. Pharmacol.* 1877. Bd. VI. S. 287.

³ Heubach, Ueber die Ausscheidung des Weingeistes durch den Harn Fiebernder. *Dissertation.* Bonn 1875.

⁴ A. Schmidt, *Centralbl. f. d. med. Wissensch.* 1875. Nr. 23.

⁵ Bodländer, Die Ausscheidung aufgenommenen Weingeistes aus dem Körper. *Pflüger's Archiv.* 1883. Bd. XXXII. S. 399.

⁶ Strassmann, Untersuchungen über den Nährwerth und die Ausscheidung des Alkohols. *Pflüger's Archiv.* 1891. Bd. IL. S. 315.

substanzen vor der Verbrennung schützt (Geppert¹ und Zuntz und Wolfers²).

Ueber den Einfluss des Alkohols auf den Stickstoffumsatz wird noch discutirt. Die älteren Versuche, welche die Erforschung dieser Verhältnisse bezwecken, sind mit mangelhafter Methodik ausgeführt.³ Von den am Menschen angestellten Versuchen sind nur die von Miura,⁴ Schmidt,⁵ Schönesseiffen⁶ und Neumann⁷ mit exacter Methode ausgeführt. Hierzu kommt noch ein von Chotzen ausgeführter Versuch, welcher von Rosenfeld⁸ mitgetheilt wird.

Bei Miura konnte der Alkohol, bei ausreichender Nahrung an Stelle von Kohlehydraten gesetzt, das Stickstoffgleichgewicht nicht bewahren. Schmidt fand in seinem Versuche, dass der einer ausreichenden Nahrung zugesetzte Alkohol keinen Stickstoffansatz bewirkte. In dem Versuche von Schönesseiffen war die Nahrung eine unzureichende, und es bestand Stickstoffverlust vom Körper. Durch Alkoholzusatz gelang es nicht, diesen N-Verlust aufzuheben.

Nach diesen Versuchen besässe der Alkohol also keine eiweiss-sparende Kraft.

Zu einem anderen Resultat kommt Neumann, dessen Versuch 35 Tage dauerte. Nachdem Neumann sich zuerst mit einer bestimmten Nahrung in Stickstoffgleichgewicht gesetzt hatte, liess er in der zweiten Periode Fett aus der Nahrung weg. Zu dieser nunmehr ungenügenden Nahrung wurde in der dritten Periode Alkohol als Ersatz für das Fett zugefügt. In der vierten Periode wurde zu der

¹ Geppert, Ueber den Einfluss des Alkohols auf den Gaswechsel des Menschen. *Archiv f. exp. Pathol. u. Pharmacol.* 1887. Bd. XXII. S. 368.

² Wolfers, Untersuchungen über den Einfluss einiger stickstofffreier Substanzen, speciell des Alkohols auf den thierischen Stoffwechsel. *Pflüger's Archiv.* Bd. XXXII. S. 222.

³ Siehe Peschel, Untersuchungen über den Eiweissbedarf des gesunden Menschen. *Diss.* Berlin 1890. — Stammreich, Ueber den Einfluss des Alkohols auf den Stoffwechsel des Menschen. *Diss.* Berlin 1891. (gute Literaturübersicht!).

⁴ Miura, Ueber die Bedeutung des Alkohols als Eiweissparer in der Ernährung des gesunden Menschen. *Zeitschr. f. klin. Med.* 1892. Bd. XX.

⁵ Schmidt, Ueber den Einfluss des Alkohols auf den Eiweisstoffwechsel des menschlichen Körpers. *Diss.* Greifswald 1898.

⁶ Schönesseiffen, Ueber den Werth des Alkohols als eiweissparendes Mittel. *Diss.* Greifswald 1899.

⁷ Neumann, Die Bedeutung des Alkohols als Nahrungsmittel. *Archiv f. Hygiene.* 1899. Bd. XXXVI. S. 1.

⁸ Rosenfeld, Der Alkohol als Nahrungsmittel. *Die Therapie der Gegenwart.* 1900. Heft II. S. 56.

Nahrung der vorhergehenden Periode wieder Fett hinzugefügt. In der fünften Periode wurde sowohl die Fetteinfuhr verringert, als auch der Alkohol weggelassen. In der sechsten Periode wurde wieder volle Kost genossen.

In der zweiten Periode trat Stickstoffverlust vom Körper ein. In der dritten Periode (Alkoholperiode) war die Stickstoffausscheidung vom ersten bis vierten Tage vermehrt; in den folgenden sechs Tagen wurde das Stickstoffgleichgewicht wieder hergestellt.

„Um aber noch“, sagt Neumann, „den erbrachten Beweis zu bekräftigen und noch deutlichere Ergebnisse zu erhalten, wurde noch eine vierte Periode eingeschaltet, in der zur vollen Nahrung noch 100^g Alkohol zugegeben wurden. Nun musste Eiweissansatz erfolgen, wenn das in der dritten Periode Gefundene richtig war.

Und in der That, die Stickstoffausfuhr verminderte sich von 12.48 auf 10.84^g. Die Bilanz betrug + 1.35^g.

Schöner und einwandfreier konnte der Beweis nicht erbracht werden.

Noch einmal erfuhr die Fettzufuhr in der fünften Periode eine Verminderung, die einen bedeutenden Verlust an Stickstoff zur Folge hatte, welcher wiederum schwand, als in der sechsten Periode die volle Nahrung verabreicht wurde.

So wäre also dargethan, dass der Alkohol die Stelle eines Nahrungsmittels einnehmen kann.“

Gegen die Schlussfolgerungen Neumann's sind von Rosemann¹ Bedenken erhoben worden.

Aus dem Versuch von Chotzen geht nach Rosenfeld eine eiweissparende Wirkung des Alkohols hervor.

Da es also noch nicht zu einer Einigung der Ansichten über den Nährwerth des Alkohols gekommen ist, so muss mehr thatsächliches Material zur Beantwortung dieser Frage gesammelt werden. Im Folgenden beabsichtige ich, hierzu einen Beitrag zu liefern.

Der nachfolgende Versuch ist im Laboratorium des Herrn Prof. Tigerstedt in Stockholm im Frühjahr 1900 ausgeführt worden. Als Versuchsperson diente Verfasser selbst. Ich war zur Zeit der Ausführung des Versuches 41 Jahre alt, von 173.5 cm Körperlänge. Das Körpergewicht war = 76.7^{kg}, der Brustumfang (über den Mamillen) = 103^{cm}, der Umfang des Leibes in der Nabelgegend = 103^{cm}. Die Musculatur ist ziemlich gut entwickelt; mässiger Panniculus adi-

¹ Rosemann, Ueber die angebliche eiweissparende Wirkung des Alkohols. Pflüger's Archiv. 1899. Bd. LXXVII. S. 405.

posus. Früher an einen mässigen Genuss von Alkohol gewöhnt, hatte ich wenigstens während eines halben Jahres vor dem Versuche alkoholhaltige Getränke nur ausnahmsweise und in ganz geringen Mengen genossen.

Der Versuch, welcher 36 Tage dauerte, war so angeordnet, dass ich zuerst während 12 Tagen eine bestimmte Kost verzehrte (Vorperiode). Dann liess ich aus der Kost einen Theil des Fettes weg und ersetzte ihn durch eine isodynamie Menge Alkohol (Alkoholperiode, ebenfalls 12 Tage). Es folgte dann eine siebentägige Periode, während welcher der Alkohol weggelassen wurde, ohne dass die entsprechende Fettmenge wieder genommen wäre. Endlich genoss ich während der letzten fünf Tage des Versuches dieselbe Kost wie in der Vorperiode. Während dreier Tage befand ich mich in der Tigerstedt-Sondén'schen¹ Respirationskammer. Die ausgeathmete Kohlensäure wurde bestimmt und die gewonnenen Zahlen bei der Berechnung des Gesamtstoffwechsels verwortheet.

Die Kost bestand aus geräuchertem Schinken, Hafergrütze, Brod, Butter, Käse, Zucker und Wasser. Der Alkohol wurde in Form eines weissen Rheinweines genossen. Der Schinken und die Butter wurden im Eisschrank aufbewahrt, jener sorgfältig in Stanniolpapier gewickelt, diese in einem luftdicht verschlossenen Gefässe. Das Brod (hartes Roggenbrod aus ganzem Mehl [Spisbröd]), die Haferkörner und der Zucker wurden ebenfalls in luftdicht verschlossenen Blechkästen gehalten. Zur Bereitung der Grütze wurden 100^g Haferkörner mit einer stets gleichen Menge Wasser während einer bestimmten Zeit gekocht.

Jedes Nahrungsmittel wurde genau analysirt. Jede in den nachstehenden Tabellen verzeichnete Zahl ist das Mittel aus wenigstens zwei Bestimmungen. Der Stickstoff wurde nach der Kjeldahl'schen Methode bestimmt. Von den festen Nahrungsmitteln wurden Generalproben zur Analyse genommen und dann der Stickstoff, die Trockensubstanz, das Fett (Aetherextract), die Asche und das Wasser direct bestimmt, die Kohlehydrate aus der Differenz berechnet. Bei der Analyse der Schinken, sowie beim Verzehren derselben wurde möglichst sorgfältig das äusserlich anhaftende Fett entfernt. In dem Wein wurde der Alkoholgehalt mittels Destillation und Wägung des Destillates im Piknometer und der Zucker mittels Titrirung mit Fehling's Lösung bestimmt.

¹ Sondén und Tigerstedt, Untersuchungen über die Respiration und den Gesamtstoffwechsel des Menschen. *Dies Archiv.* Bd. VI. S. 1.

Meine Lebensweise während der Versuchszeit war folgende. Ich stand um 7 Uhr Vorm. auf und kam um 9 Uhr ins Laboratorium, wo ich mich tagsüber bis 10 Uhr Abends beschäftigte. Um 9 Uhr ass ich Frühstück, bestehend aus Hafergrütze und etwas Butter. Die zweite Mahlzeit wurde um 12 Uhr Mittags eingenommen und bestand aus der Hälfte des Käses, $\frac{1}{3}$ des Brodes sammt Butter. Um 4 Uhr verzehrte ich die Tagesration an Schinken und $\frac{1}{3}$ des Brodes mit Butter; um 8 Uhr schliesslich den Rest des Brodes, der Butter und des Käses. Das Wasser und den Zucker, sowie während der Alkoholperiode den Wein verzehrte ich theils zu den Mahlzeiten, theils zwischen denselben.

Die Tagesperiode dauerte von 8 Uhr Vorm. bis zur selben Stunde des folgenden Tages. Die Entleerung der Fäces geschah jeden Morgen um 8 Uhr. Die Fäces wurden nicht abgegrenzt, sondern es wurde der Koth von wenigstens drei auf einander folgenden Tagen vereinigt. Nach Zusatz von etwas Schwefelsäure wurden die Fäces auf dem Wasserbade getrocknet und die Analysen an dieser getrockneten Substanz ausgeführt.

Die Zusammensetzung der Kost während der verschiedenen Versuchsperioden geht aus der Tab. I hervor.

Der Caloriengehalt der Nahrung war also = 2676.6 W.E. während der Vorperiode (wobei 1^s Eiweiss = 1^s Kohlehydrate = 4.1 Cal. 1^s Fett = 9.3 Cal. angenommen wird; im Folgenden wird weiter 1^s Alkohol = 7.0 Cal. gesetzt). Mein Körpergewicht beim Anfange des

Tabelle I.

Versuchstag	Kost	Brutto	Wasser	Trocken- substanz	Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Asche	Alkohol
		g	g	g	g	g	g	g	g
10./IV. bis 22./IV.	Brod	150	17.91	132.09	19.79	1.62	107.78	2.91	—
	Butter (I)	100	14.20	85.80	1.38	82.10	0.11	2.21	—
	Käse (I)	100	37.33	62.67	29.25	30.10	0.47	2.85	—
12 Tage (Vor- periode)	Geräuch. Schinken (I)}	150	96.84	53.16	37.13	10.07	—	5.97	—
	Hafergrütze	330	242.13	87.87	13.34	7.66	65.20	1.67	—
	Zucker	80	—	80	—	—	80	—	—
	Wasser	1800	1800	—	—	—	—	—	—
		2110	1708.41	501.59	100.89	131.55	253.56	15.61	—

Tabelle I. (Fortsetzung.)

Versuchstag	Kost	Brutto	Wasser	Trocken- substanz	Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Asche	Alkohol
		g	g	g	g	g	g	g	g
22./IV. bis 23./IV. Alkohol- periode 1. Tag	Brod	150	17.91	132.09	19.79	1.62	107.78	2.91	—
	Butter (I)	20	2.84	17.16	0.28	16.42	0.02	0.44	—
	Käse (I)	100	37.33	62.67	29.25	30.10	0.47	2.85	—
	Geräuch. } Schink. (I) }	150	96.84	53.16	37.13	10.07	—	5.97	—
	Hafergrütze	330	242.13	87.87	13.34	7.66	65.20	1.67	—
	Zucker	80	—	80	—	—	80	—	—
	Wein	941	923.59	17.41	2.35	—	2.35	1.98	87.04
	Wasser	400	400	—	—	—	—	—	—
		2171	1720.64	450.36	102.14	65.87	255.82	15.82	87.04
23./IV. bis 24./IV. Alkohol- periode 2. Tag	Brod	150	17.91	132.09	19.79	1.62	107.78	2.91	—
	Butter (I)	20	2.84	17.16	0.28	16.42	0.02	0.44	—
	Käse (I)	100	37.33	62.67	29.25	30.10	0.47	2.85	—
	Geräuch. } Schink. (II) }	164	105.29	58.71	37.13	4.44	—	17.14	—
	Hafergrütze	330	242.13	87.87	13.34	7.66	65.20	1.67	—
	Zucker	80	—	80	—	—	80	—	—
	Wein	941	923.59	17.41	2.35	—	2.35	1.98	87.04
	Wasser	400	400	—	—	—	—	—	—
		2195	1729.09	455.91	102.14	60.24	255.82	26.99	87.04
24./IV. bis 4./V. Alkohol- periode die letz- ten 10 Tage	Brod	150	17.91	132.09	19.79	1.62	107.78	2.91	—
	Butter	20	2.84	17.16	0.28	16.42	0.02	0.44	—
	Käse (II)	97.9	32.53	65.36	29.25	29.40	2.14	4.57	—
	Geräuch. } Schink. (II) }	164	105.29	58.71	37.13	4.44	—	17.14	—
	Hafergrütze	330	242.13	87.87	13.34	7.66	65.20	1.67	—
	Zucker	80	—	80	—	—	80	—	—
	Wein	941	923.59	17.41	2.35	—	2.35	1.98	87.04
	Wasser	400	400	—	—	—	—	—	—
		2182.9	1724.29	458.60	102.14	59.54	257.49	28.71	87.04

Tabelle I. (Fortsetzung.)

Versuchstag	Kost	Brutto	Wasser	Trocken- substanz	Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Asche	Alkohol
		g	g	g	g	g	g	g	g
Nach- periode 4./V. bis 11./V. 7 Tage	Brod	150	17.91	132.09	19.79	1.62	107.78	2.91	—
	Butter (I)	20	2.84	17.16	0.28	16.42	0.02	0.44	—
	Käse (II)	97.9	32.53	65.36	29.25	29.40	2.14	4.57	—
	Geräuch. } Schink. (II) }	164	105.29	58.71	37.13	4.44	—	17.14	—
	Hafergrütze	330	242.13	87.87	13.34	7.66	65.20	1.67	—
	Zucker	80	—	80	—	—	80	—	—
	Wasser	1300	1300	—	—	—	—	—	—
		2141.9	1700.70	441.19	99.79	59.54	255.14	26.73	—
Nach- periode 11./V. bis 13./V. 2 Tage	Brod	150	17.91	132.09	19.79	1.62	107.78	2.91	—
	Butter (I)	100	14.20	85.80	1.38	82.10	0.11	2.21	—
	Käse (II)	97.9	32.53	65.36	29.25	29.40	2.14	4.57	—
	Geräuch. } Schink. (III) }	153.9	98.66	55.26	37.13	4.53	—	13.61	—
	Hafergrütze	330	242.13	87.87	13.34	7.66	65.20	1.67	—
	Zucker	80	—	80	—	—	80	—	—
	Wasser	1300	1300	—	—	—	—	—	—
		2211.8	1705.43	506.38	100.89	125.31	255.23	24.97	—
Nach- periode 13./V. bis 16./V. 3 Tage	Brod	150	17.91	132.09	19.79	1.62	107.78	2.91	—
	Butter (II)	100	16.31	88.69	1.75	79.50	0.50	1.94	—
	Käse (II)	97.9	32.53	65.36	29.25	29.40	2.14	4.57	—
	Geräuch. } Schink. (III) }	153.9	98.66	55.26	37.13	4.53	—	13.61	—
	Hafergrütze	330	242.13	87.87	13.34	7.66	65.20	1.67	—
	Zucker	80	—	80	—	—	80	—	—
	Wasser	1300	1300	—	—	—	—	—	—
		2211.8	1707.54	504.27	101.26	122.71	255.62	24.70	—

Versuchs war (ohne Kleider) = 76.7^k, also war der Calorienwerth pro Körperkilo und Tag = 34.9 W. E.

Während der Alkoholperiode liess ich aus der Kost 80^g Butter (entsprechend 65.68^g Fett) weg und ersetzte das Fett mit einer isodynamen Menge Alkohol, = 87.04^g. Sowohl die zuerst angekaufte Käseportion wie der Schinken wurden während der Alkoholperiode verzehrt und mussten durch neue ersetzt werden. Da die Zusammensetzung dieser neuen Nahrungsmittel etwas von derjenigen der alten abweichend war, und da der Wein etwas (obwohl unbedeutend) Stickstoff und Kohlehydrate enthielt, so war der Caloriengehalt der Kost während der

Alkoholperiode . . .	1. Tag	2689.5	W. E.
" . . .	2. "	2637.1	"
" . . .	die übr. Tage	2637.5	"

Während des ersten Theiles der Nachperiode wurden sowohl 80^g Butter, als der Alkohol aus der Kost weggelassen, der Calorienwerth war dann während der ersten 7 Tage 2008.9 W. E. Während der übrigen Tage der Nachperiode wurden wieder 80^g Butter zugesetzt und war der Calorienwerth

während 2 Tage . . .	2625.5	W. E.
" der letzten 3 Tage	2604.4	"

Wie der Stickstoffumsatz und das Körpergewicht sich verhielten, zeigt die Tabelle II (s. nächste Seite).

Die Nahrung war unzureichend, und in Folge dessen nahm das Körpergewicht während des Versuches um 4.05^k ab.

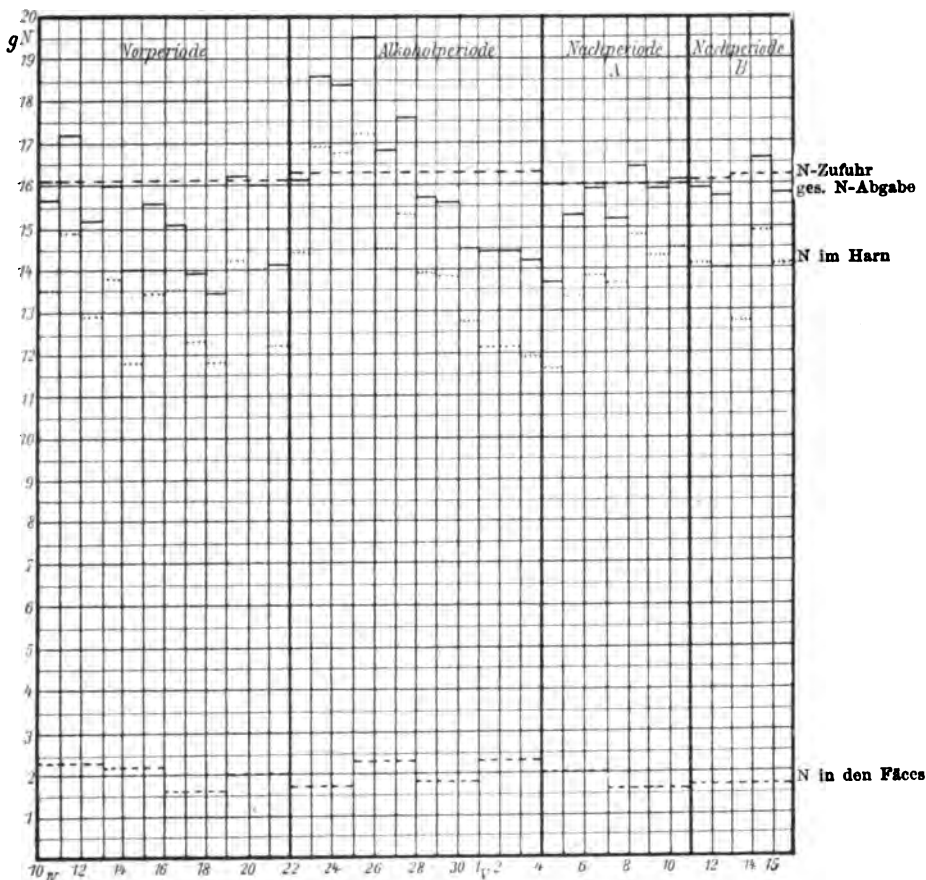
Betrachten wir die N-Bilanz (vgl. die graphische Darstellung des Versuches auf S. 363), so finden wir, dass während der Vorperiode zwar an zwei Tagen ein Stickstoffverlust vom Körper stattfand, dass aber im Allgemeinen N-Ansatz erfolgte, welcher Ansatz im Mittel aus allen Tagen der Vorperiode + 0.94^g N pro Tag beträgt. Nimmt man die Mittelzahlen von je sechs Tagen gesondert, so findet man das Tagesmittel der N-Bilanz der ersten sechs Tage = + 0.51^g und dasjenige der zweiten Hälfte der Vorperiode = + 1.36^g. Die Urinmenge beträgt für die ersten sechs Tage im Mittel pro Tag = 1159.2^{ccm}, und für die folgenden sechs Tage = 925^{ccm}. Es wäre daher möglich, dass der vermehrte N-Ansatz der zweiten Hälfte wenigstens zum Theil von einer verminderten Diurese abhängen könnte.

Dass eine Abnahme des Körpergewichtes zugleich mit einem N-Ansatz bestehen kann, ist durch Versuche von v. Noorden und

Tabelle II.

Körpergew. kg	Datum	Harn		N				
		Menge	Spec. Gew.	im Harn	in den Fäces	Summe	in der Nahrung	Bilanz
		ccm	Spec.	g	g	g	g	g
76.70	10.—11./IV.	885	1.018	13.45	2.27	15.72	16.14	+ 0.42
76.70	11.—12.	1150	1.019	14.92	2.27	17.19	16.14	— 1.05
76.70	12.—13.	925	1.019	12.89	2.27	15.16	16.14	+ 0.98
76.65	13.—14.	1755	1.011	13.88	2.21	16.04	16.14	+ 0.10
76.25	14.—15.	1200	1.018	11.82	2.21	14.03	16.14	+ 2.11
76.25	15.—16.	1040	1.020	13.38	2.21	15.59	16.14	+ 0.55
76.00	16.—17.	1085	1.018	13.51	1.59	15.10	16.14	+ 1.04
75.55	17.—18.	895	1.022	12.28	1.59	13.87	16.14	+ 2.27
75.60	18.—19.	805	1.024	11.79	1.59	13.38	16.14	+ 2.76
75.45	19.—20.	1040	1.022	14.15	2.01	16.16	16.14	— 0.02
75.05	20.—21.	960	1.022	13.98	2.01	15.99	16.14	+ 0.14
75.20	21.—22.	765	1.023	12.19	2.01	14.20	16.14	+ 1.94
74.90	22.—23.	1025	1.021	14.44	1.69	16.13	16.34	+ 0.21
75.35	23.—24.	1260	1.021	16.91	1.69	18.60	16.34	— 2.26
75.00	24.—25.	1370	1.021	16.70	1.69	18.39	16.34	— 2.05
74.50	25.—26.	1625	1.020	17.22	2.25	19.47	16.34	— 3.13
74.55	26.—27.	1335	1.020	14.54	2.25	16.79	16.34	— 0.45
74.40	27.—28.	1430	1.019	15.31	2.25	17.56	16.34	— 1.22
—	28.—29.	1610	1.017	13.90	1.80	15.70	16.34	+ 0.64
74.15	29.—30.	1540	1.018	13.84	1.80	15.64	16.34	+ 0.70
74.25	30./IV.—1./V.	1600	1.017	12.69	1.80	14.49	16.34	+ 1.85
74.05	1.—2./V.	1500	1.017	12.08	2.32	14.40	16.34	+ 1.94
73.95	2.—3.	1825	1.014	12.12	2.32	14.44	16.34	+ 1.90
73.80	3.—4.	1560	1.017	11.85	2.32	14.17	16.34	+ 2.17
—	4.—5.	1165	1.021	11.63	2.02	13.65	15.97	+ 2.32
73.35	5.—6.	1715	1.015	13.80	2.02	15.32	15.97	+ 0.65
72.80	6.—7.	1675	1.020	13.83	2.02	15.85	15.97	+ 0.12
73.05	7.—8.	1145	1.022	13.55	1.64	15.19	15.97	+ 0.78
73.00	8.—9.	1595	1.022	14.77	1.64	16.41	15.97	— 0.44
72.70	9.—10.	1640	1.023	14.29	1.64	15.93	15.97	+ 0.04
72.50	10.—11.	1500	1.023	14.45	1.64	16.09	15.97	— 0.12
72.50	11.—12.	1085	1.019	14.13	1.72	15.85	16.14	+ 0.29
72.70	12.—13.	1275	1.020	13.95	1.72	15.67	16.14	+ 0.47
72.65	13.—14.	1140	1.021	12.74	1.72	14.46	16.20	+ 1.74
72.50	14.—15.	1460	1.016	14.86	1.72	16.58	16.20	— 0.38
72.65	15.—16.	1465	1.018	14.11	1.72	15.83	16.20	+ 0.17

Dapper¹ festgestellt. Als der letztgenannte, dessen Körper fettreich war, während zwölf Tagen von einer Kost lebte, dessen Calorienwerth von 13 bis 13.5 W.E. pro Körperkilo betrug, so wurde nicht nur



Von den gestrichelten Linien zeigen die unteren den Stickstoff des Kothes, die oberen die N-Menge der Nahrung an. Die Stickstoffmenge des Harnes wird durch die punktirten Linien dargestellt. Die ausgezogenen Linien bezeichnen die Summe des Stickstoffes im Harn und im Koth.

kein Eiweiss abgeschieden, sondern pro die noch 0.8% N zurückbehalten. In einem anderen Versuche an derselben Person mit einer

¹ Arch. für Anat. u. Physiol. Physiol. Abtheilung 1894. S. 376, und v. Noorden und Dapper, Ueber den Stoffwechsel fettleibiger Menschen bei Entfettungscuren. Berl. klin. Wochenschr. 1894. Nr. 24.

etwas grösseren Eiweissmenge in der Kost, wo etwa 17 Cal. auf das Körperkilo entfielen, ging wiederum kein Eiweiss verloren, sondern es wurden kleine Mengen Eiweiss angesetzt, etwa 1.3^s N pro die.

Da die Alkoholperiode in meinem Versuche eintrat, bestand dasselbe Verhältniss wie in der Vorperiode, Stickstoffansatz, noch am ersten Tag, an welchem dem Organismus Alkohol zugeführt wurde. Es ist ja auch bekannt, dass in einem Stoffwechselversuche der erste Tag einer Nahrungsperiode unter dem Einflusse der vorhergehenden Periode steht. Aber schon am zweiten Tage der Alkoholperiode übertrifft die N-Ausgabe die Stickstoffeinnahme, und dieses Verhalten findet während fünf Tagen statt. Im Mittel verlor der Körper während dieser fünf Tage 1.82^s N pro die.

Nachdem aber die sechs ersten Tage vorüber sind, tritt N-Ansatz ein, und derselbe dauert während der sechs übrigen Tage der Alkoholperiode an und beträgt im Mittel 1.57^s pro die. Es mag ausdrücklich hervorgehoben werden, dass dieses Verhalten stattfand, obgleich die Diurese während der Tage mit negativer N-Bilanz kleiner als während der Tage mit Stickstoffansatz war. Während jener nämlich war die Harnmenge = 1404^{ccm}, während dieser = 1606^{ccm} im Mittel pro die.

Während des ersten Abschnittes der Nachperiode ist die N-Bilanz zuerst fortwährend positiv, am ersten Tage sogar noch etwas grösser als am letzten Tage der Alkoholperiode. An den folgenden Tagen nimmt jedoch dieser positive Werth ab, und während der letzten Tage nimmt die N-Bilanz kleine, abwechselnd positive und negative Werthe an; der Organismus ist also beinahe im Stickstoffgleichgewichte. Das Tagesmittel für diesen Abschnitt ist = + 0.48^s N.

Da dann wieder, im zweiten Abschnitt der Nachperiode, der Calorienwerth der Nahrung vergrössert wird durch Zusatz von Fett, so wird die N-Bilanz positiv mit etwas wechselnden Werthen, nachher scheint von Neuem Stickstoffgleichgewicht einzutreten. Das Mittel pro Tag beträgt + 0.45^s N.

Der Einfluss des Alkohols auf den N-Umsatz gestaltete sich demnach in meinem Versuche so, dass zuerst ein vermehrter Eiweisszerfall während fünf Tage stattfand. Dann aber trat das Gegentheil ein; der Alkohol sparte Eiweiss während der übrigen sechs Tage.

Das Resultat meines Versuches zeigt also eine nahe Ueberstimmung mit dem Ergebniss, welches aus Neumann's Versuch hervorgeht. Als Neumann das aus der Nahrung weggelassene Fett durch Alkohol ersetzte, so trat während der ersten vier Tage Stickstoffverlust

ein; während der übrigen sechs Tage der Alkoholperiode wirkte der Alkohol eiweissparend.

Miura, Schönesseiffen und Schmidt fanden bei verschiedenen Versuchsanordnungen, dass der Alkohol den Eiweisszerfall nur vermehrt. Alle diese Forscher haben doch die Alkoholperiode nur auf wenige Tage (höchstens vier) ausgedehnt. Ich finde, wie Neumann, dass die Resultate wahrscheinlich verändert worden wären, wenn die genannten Autoren dem Organismus längere Zeit Alkohol zugeführt hätten.

Was den Einfluss des Alkohols auf mein Befinden betrifft, so fühlte ich während der ersten vier Tage der Alkoholperiode Benommenheit des Kopfes und hatte etwas Kopfschmerzen. Während der späteren Tage hatte ich keine Beschwerden, und meine Stimmung war heiterer als in der Vorperiode.

Ich schreite jetzt zu einem Bericht über die Versuche, welche ich zur Bestimmung des Gesamtstoffwechsels während der Alkoholperiode und der Nachperiode angestellt habe. Während je 24 Stunden war ich in der Respirationskammer von Tigerstedt-Sondén eingeschlossen.

Zum ersten Male befand ich mich in der Respirationskammer am letzten Tage der Alkoholperiode, den 3. bis 4. Mai. Meine Beschäftigung daselbst bestand in Lesen und Schreiben. Die Mahlzeiten wurden zu den früher angegebenen Stunden eingenommen (s. S. 358). Nach dem Mittagessen (um 4 Uhr) ruhte ich $\frac{3}{4}$ Stunde. Um 11 Uhr Nachmittags ging ich zu Bett.

Die Kost enthielt an diesem Tage (s. Tab. I) 102·14^g Eiweiss, 59·54^g Fett, 257·49^g Kohlehydrate und 87·04^g Alkohol. Jede vierte Stunde wurden aus der Kammer Luftproben zur Kohlensäureanalyse genommen. Die erste Probe konnte nicht gleich bei meinem Eintritt in die Kammer genommen, sondern es musste erst einige Zeit Luft durch dieselbe geleitet werden. Der Anfang der Tagesperiode für die Kohlensäurebestimmungen fällt also etwas später als diejenige für die flüssigen und festen Bestandtheile des Stoffwechsels.

Die folgende Tabelle zeigt die ausgeathmete Kohlensäure in Gramm an:

						CO ₂
1900.	3./V.	9 ^h 20'	Vm.	bis 3./V.	1 ^h 20'	Nm. 142·50 ^g
		1 20	Nm.		5 20	152·60
		5 20			9 20	143·83
		9 20		4./V.	1 20	Vm. 107·62
	4./V.	1 20	Vm.		5 20	81·91
		5 20			9 20	130·88
						<hr/> 758·79 ^g .

Bei den folgenden Berechnungen wird der Kohlenstoff der Kost unter Anwendung der Zahlen: Eiweiss 52.48 Proc. C, Fett 76.52 Proc. C, Kohlehydrate 43.60 Proc. C, Alkohol 52.17 Proc. C, bestimmt. Im Eiweiss ist das Verhältniss $N : C = 1 : 3.28$ und im Harn $N : C = 1 : 0.9$ gesetzt.¹

Nimmt man weiter an, dass von der in den Fäces gefundenen N-Menge 1% von den Digestionssäften und also eine entsprechende C-Menge vom Körper herrührt, so muss bei der Berechnung der C-Ausgaben diese Quantität zu der im Harn und in den exspirirten Gasen gefundene C-Menge hinzugefügt werden. Somit werden die C-Ausgaben

im Harn	10.67 ^s
in den Fäces . .	3.28
in der Respiration	206.92
	<hr/>
	220.87 ^s .

Von den genossenen Nahrungsmitteln sind durch den Darm in den Körper 87.64^s Eiweiss, 51.76^s Fett und 244.95^s Kohlehydrate aufgenommen. Was die Verwerthung des Alkohols betrifft, nehmen wir mit Strassmann an, dass 90 Proc. im Körper verbrannt sind. Unter der Annahme, dass von den resorbirten Nahrungsstoffen zuerst das Eiweiss, dann der Alkohol und die Kohlehydrate und endlich das Fett verbrannt worden sind, gestaltet sich der Umsatz des Körpers folgendermaassen:

C		W. E.
42.15 ^s aus	80.31 ^s Eiweiss . . .	= 829.3
40.87	„ 78.34 Alkohol . . .	= 548.4
106.80	„ 244.95 Kohlehydrate	= 1004.3
31.05	„ 40.59 Fett.	= 377.5
		<hr/>
		2259.5 W. E.

Da also von 87.64^s in den Körper übergegangenem Eiweiss 80.31^s zersetzt worden sind, so sind 7.33^s am Körper zum Ansatz gelangt. Ebenso hat ein Ansatz von 11.17^s Fett stattgefunden.

Der zweite Versuch in der Respirationsskammer fand am 10. bis 11. Mai 1900 statt. Die Kost enthielt 99.79^s Eiweiss, 59.54^s Fett und 255.14^s Kohlehydrate. Ich verbrachte die Zeit in derselben Weise wie im vorhergehenden Versuche. Die Kohlensäureproduction geht aus folgender Tabelle hervor.

¹ Siehe *Centralblatt f. Physiol.* 1899. Bd. XII. S. 762.

1900. 10./V. 9 ^h	Vm.	bis	10./V. 1 ^h	Nm.	145.29 ^s
" 1	Nm.	"	" 5	"	146.47
" 5	"	"	" 9	"	140.95
" 9	"	"	11./V. 1	Vm.	92.89
11./V. 1	"	"	" 5	"	84.38
" 5	"	"	" 9	"	122.46
					<hr/> 732.44 ^s .

Berechnet man den Stoffwechsel auf dieselbe Weise wie im vorhergehenden Versuche, so erhält man die C-Ausgaben

im Harn	13.01 ^s
in den Fäces . . .	3.28
in der Respiration	199.74
<hr/> 216.03.	

In den Körper sind 89.55^s Eiweiss, 52.85^s Fett und 245.56^s Kohlehydrate aufgenommen. Der Umsatz ist also

C	W. E.
50.68 ^s aus 96.56 ^s Eiweiss . . .	= 395.9
107.06 " 245.56 Kohlehydrate	= 1006.8
58.29 " 76.18 Fett	= 708.5
<hr/> 2111.2.	

Da in diesem Falle 89.55^s Eiweiss in den Körper aufgenommen, aber 96.56^s verbrannt worden sind, so ist ein Verlust von 7.01^s Eiweiss vom Körper eingetreten. Da weiter 52.85^s Fett resorbiert und 76.18^s zersetzt worden sind, so ist der Verlust des Körpers an Fett = 23.33^s.

Bei dem dritten Versuche am 15. bis 16. Mai war der Gehalt der Kost an Eiweiss 101.26^s, an Fett 122.71^s und an Kohlehydraten 255.62^s. Die Versuchsanordnung war dieselbe wie in den vorhergehenden Versuchen. Die nachstehende Tabelle zeigt die Kohlensäureproduction an.

1900. 15./V. 9 ^h	Vm.	bis	15./V. 1 ^h	Nm.	150.89 ^s
" 1	Nm.	"	" 5	"	152.56
" 5	"	"	" 9	"	136.21
" 9	"	"	16./V. 1	Vm.	96.30
16./V. 1	Vm.	"	" 5	"	84.80
" 5	"	"	" 9	"	104.00
					<hr/> 724.76 ^s .

Während dieser Zeit waren die C-Ausgaben

im Harn 12.70^g
 in den Fäces 3.28
 in der Respiration 197.64

218.62^g.

In den Körper sind 90.49^g Eiweiss, 113.70^g Fett und 242.47^g Kohlehydrate aufgenommen worden.

Der Umsatz des Körpers ist

C		W. E.
49.56 ^g aus	94.44 ^g Eiweiss	= 387.2
105.72	„ 242.47 Kohlehydrate	= 994.1
58.34	„ 76.24 Fett	= 709.0
		<hr/> 2090.8.

Vom Körper sind 3.95^g Eiweiss abgegeben, dagegen 37.46^g Fett angesetzt worden.

Berechnet man für die beiden in der Respirationskammer zugebrachten Tage, an denen kein Alkohol genossen wurde, das Mittel der umgesetzten Nahrungsmengen und vergleicht die so gewonnenen Zahlen mit denjenigen am Alkoholtage, so findet man, dass am Alkoholtage 0.93^g mehr Kohlehydrate verbrannt, dagegen aber 15.19^g Eiweiss und 35.62^g Fett gespart worden sind. Die Calorien des verbrannten Alkohols und der Kohlehydrate sind 552.2, statt dessen hat der Organismus an den alkoholfreien Tagen 393.5 W. E. aus Eiweiss und Fett genommen. Die Isodynamie des Alkohols ist also etwa 71 Proc. gewesen.

Die Tab. III (s. S. 369) zeigt, wie die Kost in den verschiedenen Versuchsperioden im Mittel pro Tag im Darne ausgenützt worden ist.

In Procenten ausgedrückt beträgt also die Ausnützung der Kost während der verschiedenen Versuchsperioden im Mittel pro Tag (siehe Tab. IV):

Tabelle IV.

Versuchsperiode	Trocken- substanz	Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Asche	W. E.
Vorperiode. . .	91.77	87.47	92.12	95.26	60.03	92.63
Alkoholperiode	91.92	87.63	88.13	95.47	79.08	93.72
Nachperiode. .	92.23	88.98	90.66	95.50	77.86	92.59

Im Allgemeinen ist also der Unterschied in der Ausnützung der Nahrung während der verschiedenen Perioden unbedeutend. Nur in der Ausnützung der Asche zeigen sich grössere Differenzen.

Tabelle III.

Versuchsperiode	Trocken- substanz	Eiweiss		Fett		Kohle- hydrate		Alkohol		Asche		W. E. aus				
		g		g		g		g		g		Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Alkohol	Summa
		g		g		g		g		g						

Einnahmen.

Vorperiode . .	501.59	100.89	131.55	253.56	—	15.61	413.6	1223.4	1039.6	—	2676.6
Alkoholperiode	457.69	102.14	60.13	257.21	87.04	27.49	418.8	559.2	1054.6	609.3	2641.9
Nachperiode . .	467.83	100.34	86.29	255.28	—	25.93	411.4	802.5	1046.6	—	2260.5

Ausgaben in den Fäces.

Vorperiode . . .	41.26	12.64	10.36	12.03	—	6.24	51.8	96.3	49.3	—	197.4
Alkoholperiode	37.16	12.64	7.14	11.64	—	5.75	51.8	66.4	47.7	—	165.9
Nachperiode . .	36.34	11.06	8.06	11.48	—	5.74	45.4	74.9	47.1	—	167.4

Der Alkohol hat keine auffallende Wirkung auf die Resorption der Nahrungsstoffe ausgeübt. Die Ausnützung der Trockensubstanz, des Eiweisses und der Kohlehydrate ist etwa dieselbe in allen drei Perioden. Das Fett ist in der Alkoholperiode etwas weniger gut als in den übrigen zwei Perioden ausgenützt worden. Die Ausnützung der Asche ist in den zwei späteren Perioden eine bessere als in der Vorperiode gewesen.

In den Versuchen von Schmidt und Schönesseffen war die Eiweissresorption während der Alkoholperiode geringer als während der Vorperiode.

Da in diesem Archive Zusammenstellungen von Beobachtungen über die Ausnützung gemischter Kost schon veröffentlicht worden sind,¹ so glaube ich von einem Vergleich dieser Resultate mit den meinigen absehen und auf die genannten Aufsätze verweisen zu dürfen.

Die Hauptergebnisse des vorstehenden Versuches möchte ich in folgender Weise ausdrücken:

Der Alkohol hat nicht nur stickstofffreie Nahrungsstoffe, sondern, nachdem der Körper sich an denselben gewöhnt hat, auch Eiweiss gespart.

Der Alkohol hat keine nachweisbare Wirkung auf die Resorption der Nahrungsstoffe im Darne ausgeübt.

Schliesslich erfülle ich eine angenehme Pflicht, indem ich Herrn Prof. R. Tigerstedt, auf dessen Anregung ich diese Arbeit unternahm, für das freundliche Entgegenkommen, mit dem er die für meine Untersuchung nöthigen Apparate zu meiner Verfügung stellte, und für die mir ertheilten werthvollen Rathschläge meinen besten Dank ausspreche.

Ebenso danke ich Herrn Amanuens G. Koraen und Fräulein Cand. phil. T. Rosenberg für ihre bereitwillige Unterstützung bei meiner Arbeit.

¹ Siehe Hultgren und Landergren, Ueber die Ausnützung gemischter Kost im Darne des Menschen. *Dieses Archiv.* 1895. Bd. V. S. 111, und Johansson, Landergren, Sondén und Tigerstedt, Beiträge zur Kenntniss des Stoffwechsels beim hungernden Menschen. *Dieses Archiv.* 1897. Bd. VII. S. 44.

Anhang.

Tabelle V.

Die procentige Zusammensetzung der Nahrungsmittel.

Nahrungsmittel	Wasser	Trocken- substanz	Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Asche	Alkohol
Brod	11.94	88.06	13.19	1.08	71.85	1.94	—
Butter I	14.20	85.80	1.88	82.10	0.11	2.21	—
„ II	16.31	83.69	1.75	79.50	0.50	1.94	—
Käse I	37.83	62.67	29.25	30.10	0.47	2.85	—
„ II	33.23	66.67	29.88	30.03	2.19	4.67	—
Geräuch. Schinken I	64.56	35.44	24.75	6.71	—	3.98	—
„ „ II	64.20	35.80	22.64	2.71	—	10.45	—
„ „ III	64.10	35.90	24.12	2.94	—	8.84	—
Haferkörner	12.13	87.87	13.34	7.66	65.20	1.67	—
Wein	88.90	1.85	0.25	—	0.25	0.21	9.25

Tabelle VI.

Die Menge und Zusammensetzung der Fäces.

Datum	Gewicht	Wasser	Trocken- substanz	Eiweiss	Fett	Kohle- hydrate	Asche
	g	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.
10. bis 13./IV.	682	79.78	20.22	6.25	4.90	5.79	3.28
13. „ 16.	722	81.81	18.19	5.74	4.73	4.98	2.74
16. „ 19.	547	81.04	18.96	5.47	4.72	6.19	2.58
19. „ 22.	575	78.75	21.25	6.55	5.38	6.09	3.23
22. „ 25.	456	78.48	21.52	6.95	4.48	6.96	3.13
25. „ 28.	553	77.30	22.70	7.73	4.27	7.16	3.54
28./IV. bis 1./V.	426	76.90	23.10	7.91	4.28	7.23	3.68
1. bis 4./V.	562	77.96	22.04	7.74	4.15	6.69	3.46
4. „ 7.	485	76.25	23.75	7.82	5.14	6.94	3.85
7. „ 11.	534	76.35	23.65	7.67	5.01	7.17	3.80
11. „ 16.	769	74.70	25.30	7.00	5.86	8.55	3.89

Beiträge zur Kenntniss der Strukturveränderungen der Ganglienzellen unter der Einwirkung stärkerer Inductionsströme.¹

Von

Cand. med. Georg von Wendt.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors.)

Man kann Nissl mit seiner Färbungsmethode gewissermaassen als Gründer des Studiums ansehen, welches in letzterer Zeit in wissenschaftlichen Kreisen stets ein erhöhtes Interesse auf sich gezogen hat. Ich meine das Studium der morphologischen Veränderungen, welche die Nervenzellen bei verschiedenen physiologischen und pathologischen Zuständen begleiten.

Täglich werden mit Hülfe dieser Methode oder durch Modificationen derselben theils neue, theils ergänzende Beobachtungen gemacht, welche zum Theil die Richtigkeit früherer Beobachtungen constatiren, oder Fehler derselben aufdecken, zum Theil ein anderes Licht auf dieselben werfen, oder sie auf einen ganz anderen Platz in der Beobachtungsreihe stellen, welche die Grundlage jeder Anschauung bildet.

Die morphologischen Veränderungen, welche die arbeitende oder durch Arbeit ermüdete Nervenzelle kennzeichnen, sind von vielen Forschern untersucht worden (Nissl, Hodge, Goldscheider, Flatau, Mann, Demoor, Lugaro, Pognat, Pick, Holmgren u. A.).

Die Voraussetzung, dass schwächere faradische Reizung der Nervenzellen von ähnlichen morphologischen Veränderungen begleitet wird, wie die physiologische Arbeit der Zelle, hat ein erleichtertes und ausgedehntes Studium hierhergehörender Fragen ermöglicht. Doch will ich gegen diese Voraussetzung in Uebereinstimmung mit früheren Autoren einen wesentlichen Einwand erheben. Wenn auch, so weit sich constatiren liess, die morphologischen Abweichungen der

¹ Der Redaction am 25. Februar 1901 zugegangen.

arbeitenden Nervenzelle von der ruhenden in gewissen Hauptzügen mit denen übereinstimmen, welche der Reiz des faradischen Stromes an der Nervenzelle hervorruft, so ist man gleichwohl nicht berechtigt anzunehmen oder vorauszusetzen, dass in diesem Falle eine morphologische Aequivalenz vorläge; denn sicherlich wird die physiologische Arbeit und die elektrische Reizung ebenso wie jeder andere Eingriff auf die Zelle, beispielsweise die verschiedenen Vergiftungen, von für jeden Faktor spezifischen morphologischen Veränderungen begleitet, obgleich dieselben in den Hauptzügen mehr oder weniger mit einander übereinstimmen.

Die meisten Forscher haben bei ihren Untersuchungen vermittelt Elektricität Faradisation von Nervenplexen während kürzerer oder längerer Zeit, $\frac{1}{2}$ bis 1, 2, 3 und mehreren Stunden angewandt, und ganz schwache Ströme benutzt (Holmgren¹ zwei Leclanché-Elemente 6^{cm} Rollenabstand).

Die Veränderungen, welche die Nervenzelle in der Periode des Ueberganges von Ruhe zur Arbeit und von Arbeit zur Ermüdung unterliegt, sind unter Anwendung der Nissl'schen Methode folgende: I. Im Initialstadium nimmt sowohl der Zellenkörper, als der Kern an Grösse zu, der Zellkern nähert sich etwas der Peripherie, die Nissl-Substanz vermehrt sich etwas und wird feinkörniger. II. Im Verlauf der Arbeit (Reizung) nehmen Zellenkörper und Kern allmählich an Volumen ab, der Zellkern nähert sich immer mehr der Peripherie und die Tigroidsubstanz nimmt ab und wird allmählich diffus im umgebenden Medium aufgelöst. III. Die Ermüdung wird dadurch gekennzeichnet, dass der Umfang der Zelle und des Kernes noch mehr abnimmt. Der Kern enthält häufig eine unregelmässige Form, nähert sich noch mehr der Peripherie und kann mitunter theilweise aus der Zelle austreten, die Tigroidschollen werden aufgelöst und verschwinden mehr oder weniger vollständig.

Die Erklärung der hierher gehörenden Verhältnisse weicht bei den verschiedenen Verfassern in vielen Stücken von einander ab, hauptsächlich beruhend auf der verschiedenen Auffassung der Verfasser von der Natur der Nissl-Substanz. Diejenigen, welche die Ansicht vertreten, dass diese Substanz einen Nährstoff der Zelle bildet, beziehen die Veränderungen der Nissl-Bilder bald auf erhöhten, bald auf verminderten Nahrungsbedarf, bald auf gestörte Ernährungsverhältnisse überhaupt. Andere, welche in den Nissl-Körperchen ein durch die

¹ Holmgren, Studien in der feineren Anatomie der Nervenzellen. *Bonnet-Merkel's anatomische Hefte*. Bd. XV. S. 76.

Fixirmittel zerstörtes und zu kleinen, mehr oder weniger faserigen Schollen zusammengeschrumpftes Netzwerk¹ sehen, erklären die verschiedenen Bilder durch den, unter verschiedenen Umständen wechselnden chemischen Charakter der Zelle. Diejenigen, welche die Tigroidsubstanz als ein Fällungsproduct² auffassen, haben ungefähr die gleiche Erklärung u. s. w.

Unabhängig von der Erklärung steht jedoch so viel fest, dass jede Reizung der Zelle, jeder Process derselben, gleichviel ob physiologischer oder pathologischer Natur, wahrscheinlich von einer entsprechenden morphologischen Veränderung begleitet ist, und ferner, dass die sog. Nissl-Substanz sich recht empfindlich gezeigt hat, wenn auch nicht in dem Grade, dass sie als einzige Grundlage der Morphologie der Zellen dienen könnte, da ja nicht alle Alterationen der Nervenzelle von deutlich veränderten Nissel-Bildern³ begleitet zu sein brauchen.

Ich will hier vorläufig einige Beobachtungen berühren, die mit Hülfe der Nissl'schen Färbungsmethode an Nervenzellen gemacht wurden, welche kürzere Zeit der Einwirkung starker Inductionströme ausgesetzt waren. Pugnât⁴ hat früher unter Anwendung von Eisenhämatoxylinfärbung Untersuchungen an gleichartig behandelten Nervenzellen angestellt und war dabei zu Resultaten gelangt, welche, theilweise wenigstens, mit den meinigen übereinstimmen; doch scheint mir in diesem Falle, nebenbei gesagt, die Eisenhämatoxylinfärbung weniger deutliche und typische Resultate zu geben, als die Nissl'sche Methode.

Als Versuchsthier wurde *Rana temporaria* angewandt. Das Thier wurde möglichst unbeweglich auf einer Korkscheibe befestigt. Durch die Seite wurden zwei mit Ausnahme der äussersten Spitze gut isolirte, dünne Platinadeln in je ein Intervertebralloch eingeführt, wobei vorsichtig vermieden wurde, das entsprechende Ganglion zu beschädigen, oder durch zu tiefes Vorschieben eine Läsion des Rückenmarks zu erzeugen, was erst nach einiger Uebung gelang. Wegen der kurzen Medulla spinalis und der langen Cauda equina des Frosches fand ich es am geeignetsten, die Nadeln ins dritte oder vierte bezw. sechste oder siebente Intervertebralloch zu stecken. Das achte, neunte

¹ A. Donazzio, Nuove osservazioni sulla struttura della cellula nervosa. *Riv. sperim. di Fren.* 1898. Bd. XXIV. S. 3 bis 4.

² Held, Beiträge zur Struktur der Nervenzelle und ihre Fortsätze. I. II. und III. Abhandl. im *Arch. f. Anat. u. Physiol.* Physiol. Abth. 1895 bis 97.

³ Goldscheider und Flatow, Beiträge zur Pathologie der Nervenzellen. *Fortschr. d. Med.* Nr. 7 u. 11. 1897.

⁴ Ch. A. Pugnât, Sur les modifications histologiques des cellules nerveuses dans l'état du fatigue. *Compt. rend.* 1898. CXXV. 19. p. 786.

und zehnte Spinalganglion wurde nach der von Lenhossek¹ angegebenen Methode frei präparirt und angewandt.

Zur Erzeugung der Inductionsströme wurde ein gewöhnlicher Schlitteninductionsapparat angewandt. Die Inductionsströme wurden mit einem elektrostatischen Voltameter gemessen, der eine Maximalspannung von 1000 Volt angab. Im Vorübergehen will ich hier bemerken, dass der elektrostatische Voltameter nur die Mittelspannung angiebt, welche wegen der Natur der Spannungskurve des Inductors wesentlich unter den maximalen Spannungen liegt. Will man einigermaassen feste Zahlen für die angewandten Spannungen haben und sich nicht mit relativen Werthen begnügen, wie es der Verfasser bisher gethan hat, so wäre es mehr geeignet, Reizung mit Strömen des Sinustypus zu gebrauchen.

Es wurden Ströme bis zu einer Mittelspannung von 100 bis 500² Volts während einer Zeit von 2 bis 10 Minuten angewandt. Ohne näher auf mehr oder weniger wesentliche Einzelheiten einzugehen, will ich nur eines hervorheben. Wenn die Resultate auch gewissen, auf individuellen Verschiedenheiten der Versuchsthiere und möglicher Weise kleinen Unterschieden in der technischen Ausführung beruhenden Schwankungen unterworfen waren, so halte ich es doch für festgestellt, dass zwischen den Zellenveränderungen und der Grösse der Spannung ein directes Verhältniss besteht; ausserdem möchte ich der Reizungszeit eine grössere Bedeutung beilegen als Pognat; was die Unterbrechungszahl angeht, werde ich ihren Einfluss künftig näher besprechen.

Während der Reizung befinden sich die Thiere in einem tetanusartigen Zustande, eine reichliche Schleimsecretion geht von der Haut aus, deren Oberfläche ein äusserst glänzendes und schleimiges Aussehen zeigt. Nach Anwendung von Strömen, deren Mittelspannung 200 Volt überstieg, schien das Thier (besonders die hinteren Extremitäten) eine längere oder kürzere Zeit gelähmt zu sein. Wird das Thier sogleich nach einer stärkeren Reizung decapitirt, so werden auch keine Hautreflexe von den unteren Extremitäten ausgelöst.³ Gewöhnlich sind nicht mehr als 1 bis 3 Stunden erforderlich, ehe das Thier

¹ M. Lenhossek, Untersuchungen über die Spinalganglien des Frosches. *Arch. f. mikr. Anat.* 1886.

² 100 bis 200 Volt wird unter den Figuren mit „schwacher Strom“, 200 bis 350 Volt mit „mittelstarker Strom“, 350 bis 500 Volt mit „starker Strom“ bezeichnet.

³ Broca et Richet, Periode refractaire dans les centres nerveux. *Compt. rend. de l'acad.* 1897. T. I. p. 96.

wieder normal erscheint; häufig werden schon kurz nach der elektrischen Reizung Hautreflexe ausgelöst. Die Veränderungen, welche ich an den Nervenzellen fand — ich halte mich hier nur an meine Untersuchungen der Spinalganglienzellen — zeigten sich gleichfalls mit dem oben erwähnten Verhalten in Uebereinstimmung stehend. Die typischsten Veränderungen wurden an den Spinalganglienzellen beobachtet, wenn die Ganglien gleich nach der Reizung herausgenommen und fixirt wurden. An später, verschieden lange Zeit nach der Reizung entnommenen Exemplaren war eine mehr oder weniger deutliche Näherung dem Ruhetypus vorhanden.

Die Ganglien wurden theils in Carnoy'scher Flüssigkeit (höchstens eine Stunde), in gesättigter Sublimatlösung, oder in Alkohol fixirt, und dann auf gewöhnliche Art in Alkohol gehärtet. Die Chloroform-, Paraffin- und Xylol-Paraffinmethoden wurden abwechselnd angewandt. Mit dem Cambridge-Rocking-Mikrotom wurden Serienschritte von 2 bis 6 μ Dicke verfertigt. Die Schnitte wurden mit Wasser auf den Objectträger geklebt und die Färbung geschah mit Nissl'schem Methylenblau nach den von van Gehuchten¹ angegebenen Modificationen. Vor Allem sei angeführt, dass, je stärkere Ströme benutzt werden und je länger die Reizungszeit währte, die Veränderungen um so grösseren Schwankungen unterworfen zu sein schienen, was wahrscheinlich auf kleinen Abweichungen in der Placirung der Platinadeln beruhte.

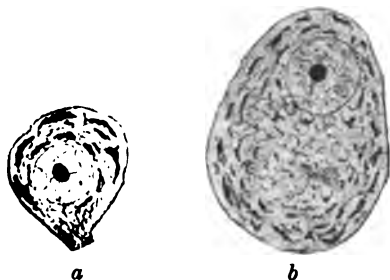


Fig. 1. Normalpräparat eines ungereizten Ganglions. Kleinere und grössere Spinalganglienzelle mit reichlicher, gewissermaassen regelmässig geordneter Nissl-Substanz.

Was zunächst die äussere Configuration der Zelle betrifft, so zeigt die gereizte Zelle gewöhnlich eine unregelmässiger und kantigere Form als die normale (Fig. 1 a und 1 b).

Die Zellenwand scheint wechselndem Druck ausgesetzt gewesen zu sein (Fig. 2 und 3 u. a.), besonders tritt dieses oft bei stärkerer und langdauernder Reizung

deutlich zu Tage; doch treten diese Veränderungen mitunter schon bei schwächerer Reizung auf, und scheint es mir, dass die gewöhnliche, mehr oder wenige regelmässige ovale Form der Zellen unter der Reizung leicht verloren geht.

¹ van Gehuchten, *Anatomic du système nerveux de l'homme*. 1900. Premier volume. p. 291.

Was den Zellkörper betrifft, so treten an demselben mitunter, besonders nach stärkerer und langdauernder Reizung, vacuolenartige Bildungen auf¹ (Fig. 3).

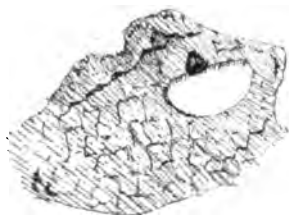


Fig. 2. Fünf Minuten Reizung, mittelstarker Strom. Die Contourirung ist unregelmässig. Die Nissl-Substanz ist zum grössten Theil diffus gelöst, eine undeutlich netzförmige Struktur ist vorhanden (siehe unten); das Kernkörperchen ist beinahe aus dem Kern getreten.



Fig. 3. Drei Minuten Reizung, mittelstarker Strom. Die äussere Form ein wenig unregelmässig. Die Nissl-Substanz beinahe vollständig gelöst. Eine recht deutliche Netzbildung vorhanden. Die grosse, vacuolenartige Erweiterung hat eine theilweise gekerbte Abgrenzung. Das Kernkörperchen ist mit einem deutlich helleren Ringe versehen.

An einigen Präparaten wurden feinere und gröbere, auf der Grenze zwischen Vacuolen und Canälen stehende Bildungen beobachtet, welche etwas an die von Holmgren² und Studnicka³ erwähnten Saftcanäle erinnern. Doch will ich damit nicht behaupten, dass diese mit denen von diesen Autoren beschriebenen identisch sind. Wenn auch die Canäle nach Holmgren sich während der elektrischen Reizung recht stark erweitern, so scheinen doch die von mir beobachteten einer Vacuolisierung näher zu stehen (Fig. 4), als das von Holmgren beschriebene Canalsystem.



Fig. 4. Vier Minuten starker Strom. Die Nissl-Substanz zum grössten Theil gelöst. Vacuolcanälchenartige Erweiterungen. Hier ist eine gekerbte Abgrenzung der Erweiterungen nicht wahrnehmbar. Der Kern ist höchst unregelmässig gezackt, das Kernkörperchen ist in zwei halbmondförmige Stücke gespalten.

¹ van Gebuchten et de Buck, Contribution à l'étude de localisations des noyaux moteurs dans la moelle lombo-sacrée et de la vacuolisation des cellules nerveuses. *Revue de Neurol.* 1898. No. 15.

² Holmgren, l. c.

³ Studnicka, Ueber das Vorkommen von Canälchen und Alveolen im Körper der Ganglienzellen und in dem Axencylinder einiger Nervenfasern der Wirbelthiere. *Anat. Anzeiger.* Bd. XVI.

Die von mir beobachteten Erweiterungen heben sich scharf vom Zellenprotoplasma ab. Ob dieses darauf beruht, dass sie durch eigene Membranen gegen den übrigen Theil der Zelle begrenzt waren, ist schwer zu entscheiden; zuweilen scheint die Abgrenzung eben, zuweilen deutlicher oder undeutlicher gekerbt. Ähnliche Bildungen habe ich nur in solchen Nervenzellen beobachtet, die eine Reizung durchgemacht hatten.¹

Was die achromatische Substanz der Zelle betrifft, so zeigt sie sich nicht klar und nahezu ungefärbt, wie bei den normalen Zellen (vgl. Fig. 1 a und 1 b mit den übrigen), sondern mehr oder weniger diffus trübe gefärbt, was auf eine äusserst feine Zertheilung oder Auflösung, wenigstens eines Theiles der Nissl'schen Substanz deutet. Mitunter findet man in gewissen Theilen der Zelle, besonders in der Nähe grösserer Tigroidblöcke, das Protoplasma intensiv tingirt, ohne dass sich auch mit der stärksten Vergrösserung (Zeiss' Apochrom. 2^{mm}. Apert. 1·30 comp. ocul. 18) eine Körnigkeit auffinden lässt, welche die Färbung bedingt hätte. Es macht den Eindruck, als ob der Farbe attrahirende Stoff in der unter normalen Verhältnissen für Färbung (Methylenblau) mehr oder weniger unempfindlichen Substanz der Zelle aufgelöst wäre.

Die Veränderung der Tigroidsubstanz, der sog. chromatischen Substanz, bietet bei der elektrischen Reizung viel Interessantes. Die Auf-

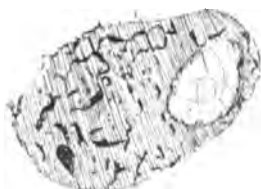


Fig. 5. Sechs Minuten Reizung, schwacher Strom. Die Zelle ist schwach diffus blau gefärbt. Die Tigroidblöcke sind unregelmässig herumgestreut. Der Kern liegt excentrisch.



Fig. 6. Zwei Minuten Reizung, mittelstarker Strom. Die Zelle ist diffus hellblau gefärbt. Das Netzwerk ist nicht regelmässig, einige Maschenstücke sind dicker als andere und scheinen den Tigroidblöcken nahe zu stehen.

lösung und das Verschwinden derselben sind schon bei der Charakterisirung der Reizung (bezw. Arbeit) besprochen. Eine unregelmässige Zerstreuung der noch nicht aufgelösten Tigroidblöcke ist eine gewöhnliche Erscheinung (Fig. 5). Unter gewissen Umständen tritt nicht so selten in der Zelle ein mehr oder weniger deutlich markirtes Netzwerk auf nicht sonderlich stark gefärbtem, diffusem blauen Grunde auf (Fig. 6).

¹ Dieses betrifft nur Präparate, die nach Nissl's Methode gefärbt waren.

Die Deutlichkeit und Regelmässigkeit des Netzwerks scheint auf der mehr oder weniger vollständigen Auflösung der Tigroidsubstanz zu beruhen. So fand ich eine relativ grosse Regelmässigkeit in der Anordnung der Maschen in den Zellen, wo der ungeformte Theil des Protoplasmas nicht sehr stark gefärbt schien und keine Tigroidblöcke zu finden waren (Fig. 7).

Das regelmässige Netz ist gewöhnlich nicht mit knotenförmigen Anschwellungen versehen. Es scheint gleichmässig über die ganze Zelle vertheilt zu sein, von der Peripherie bis zum Zellkern, über den es sich jedoch nicht erstreckt. Je dünner die Schnitte sind, die zur Anwendung kommen, desto deutlicher und einfacher erscheint das Netz. Im Allgemeinen fand ich, dass Zellen des kleineren Typus ein deutlicheres und stärker markirtes Netzwerk zeigen (Fig. 8), auch scheint das Netzwerk bei diesen leichter und häufiger aufzutreten. Doch können sehr deutliche und regelmässige Netze auch bei grösseren Zellen beobachtet werden (beispielsweise Fig. 7).

Eine nahe Uebereinstimmung zwischen diesen und anderen in der Litteratur erwähnten netzartigen Bildungen der Ganglienzellen habe ich nicht gefunden; weder die von

Golgi¹ oder Bethe² erwähnten stimmen, wie schon aus den Figuren ersichtlich, mit diesen überein. Die grösste Aehnlichkeit findet sich, so weit ich bis jetzt gesehen habe, zwischen dem von mir beobachteten Netzwerk und dem von Marinesco³ beschriebenen in den Ganglienzellen arsenikvergifteter Hunde, und dem von Münzer und Wiener⁴ durch Compressionsanämien erzeugten.



Fig. 7. Zwei Min. Reizung, mittelstarker Strom. Das Netzwerk tritt deutl. und gewissermaassen regelmässig auf diffus blauem Grunde hervor. Keine knotenförm. Anschwellungen sind zu observiren.



Fig. 8. Drei Minuten Reizung, mittelstarker Strom. Das Netzwerk ist nicht ganz regelmässig, aber sehr deutlich zu sehen.

¹ Golgi, *Studi nuovi sulla struttura delle cellule nervose dei gangli spinali*. Pavia 1899.

² A. Bethe, Ueber Neurofibrillen in den Ganglienzellen der Wirbelthiere und ihre Beziehung zu den Golginetzen. *Arch. f. mikr. Anat.* 1900.

³ G. Marinesco, *Recherches sur la biologie de la cellule nerveuse*. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* Physiol. Abth. 1899.

⁴ Egmont Münzer und Hugo Wiener, Beiträge zur Anatomie und Physiologie des Centralnervensyst. *Arch. f. exper. Path. u. Pharmak.* Bd. XXV.

Das oben beschriebene Netzwerk tritt nur unter gewissen Verhältnissen auf, und habe ich mitunter in Serienschnitten von 10 bis 20 gleichartig behandelten Ganglien nicht eine einzige Zelle getroffen, wo das Netz völlig typisch ausgebildet gewesen wäre, während sich bei anderen Gelegenheiten typische Netzwerke in Ganglienzellen in mehreren Präparaten nach einander fanden. Worauf diese scheinbare Launenhaftigkeit beruht, oder unter welchen Umständen das Netzwerk sicher zu Tage tritt, habe ich noch nicht feststellen können; doch scheint mittelstarke, kurzdauernde (2 Min.) Reizung am meisten für das Hervortreten des Netzes geeignet zu sein (Frühlingsfrösche sind ausgesprochen geeigneter als Herbstfrösche). Ich hoffe späterhin, im Zusammenhang mit Untersuchungen über den Einfluss der stärkeren Inductionsströme auf die Ganglienzellen des Gehirns und Rückenmarks, dieses Netzwerk und die sich daran schliessende Litteratur ausführlicher zu behandeln. Hier will ich nur noch, ohne mich auf Deutungsversuche einzulassen, hervorheben, dass zahlreiche Uebergangsformen zwischen einem derartigen Netzwerk und Tigroidschollen beobachtet wurden (Figg. 9, 5 und 11).

Der Kern zeigt bei fast allen gereizten Zellen eine excentrische Lage. Bei einigen Zellen liegt er in unmittelbarer Nähe der Zellen-

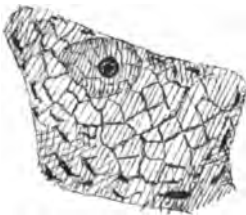


Fig. 9. Drei Minuten Reizung, schwacher Strom. Im centralen Theile der Zelle ist das Netzwerk recht regelmässig. In peripheren Theilen sind mehrere Uebergangsformen zwischen Netzwerkstücken und Tigroidschollen wahrzunehmen.



Fig. 10. Sieben Min. Reiz., schwacher Strom. Die Nissl-Subst. ist vollständig aufgelöst u. ein unregelm. u. undeutl. Netzwerk auf recht stark gefärbtem, diffus blauem Grunde zu sehen. Der Kern macht eine hernienartige Ausbuchtung der Zellenwand. Das Kernkörperchen ist eckig geformt und mit einem hellen Ringelchen versehen.

peripherie (s. Fig. 8). Mitunter bildet er eine hernienartige Ausbuchtung der Zellenwand (Fig. 10). Was Form und Aussehen des Kernes betrifft, ist er im Allgemeinen recht unregelmässig mit mehr oder weniger gefärbten Rändern (Fig. 11). Bisweilen ist er ganz und gar diffus gefärbt, in stärker gereizten Zellen oft höchst unregelmässig eingekerbt und sternförmig.

Ein inneres Netzwerk des Kernes tritt bald mehr, bald weniger deutlich hervor, doch konnte ich es in keine directe Verbindung mit der Reizung bringen, es tritt häufig in normalen Zellen deutlicher auf als in gereizten.

Der Kernkörper steht in den gereizten Zellen gewöhnlich mehr excen- trisch, zuweilen tritt er fast gänzlich aus dem Kerne heraus (s. Fig. 2).

Mitunter ist der Kernkörper kantig oder gespalten, oft mit einem concen- trisch belegenen hellgefärbten Ring oder Zone versehen (s. Figg. 1. 3. 9 und 10).

(Die Figuren sind mit dem Zeichen- apparat von Zeiss [nach Abbé] ent- worfen. Der Abstand vom Ocular bis

zum Papier betrug etwa 35^{cm}. Das benutzte System Zeiss' Apochrom. 2^{mm}-Apert. 1.30 und dem Compensationsocular Nr. 4.)

Schliesslich will ich hier noch den Herren Prof. G. Asp, Prof. R. Tigerstedt und Dr. R. Kolster meinen Dank aussprechen für das Wohlwollen und die vorzügliche Zuvorkommenheit, die mir von Seiten dieser Herren zu Theil geworden ist.

Helsingfors, im December 1900.



Fig. 11. Fünf Minuten Reizung, mittelst. Strom. Uebergangs- formen zwischen Netzwerk und Tigroidschollen in der Zelle zu sehen. Der Kern ist unregel- mässig mit gefärbter Randzone.

Untersuchungen über die relative Tiefenlage der kälte-, wärme-, und schmerzpercipirenden Nervenenden in der Haut und über das Verhältniss der Kältenervenenden gegenüber Wärmereizen.¹

Von

Torsten Thunberg.

(Aus dem physiologischen Laboratorium der Universität Upsala.)

Inhaltsverzeichniss. I. Ueber den relativen Abstand der kälte-, wärme- und schmerzpercipirenden Nervenenden von der freien Oberfläche der Haut. 1. Einleitung. 2. Methode. 3. Die Entstehung einer überwiegenden Kälteempfindung bei einer gewissen Wärmereizung, und einer überwiegenden Wärmeempfindung bei einer anderen. 4. Die Entstehung einer überwiegenden Schmerzempfindung bei einer gewissen Wärmereizung, und einer mehr hervortretenden Wärme- und Kälteempfindung bei einer anderen. 5. Die Ursachen der Entstehung einer überwiegenden Kälteempfindung bei einer gewissen Wärmereizung. 6. Die Ursachen der Entstehung einer überwiegenden Schmerzempfindung bei einer gewissen Wärmereizung. 7. Schluss auf die Tiefenlage der Nervenenden. 8. Die erklärende Bedeutung der Annahme einer verschiedenen Tiefenlage der thermisch empfindlichen Nervenenden. — II. Ist Wärme ein adäquates Reizmittel für die Kälteendorgane? 1. Wärme — ein Reizmittel für die Kälteendorgane. 2. Ist Wärme ein adäquates Reizmittel für die Kälteendorgane?

I. Ueber den relativen Abstand der kälte-, wärme- und schmerzpercipirenden Nervenenden von der freien Oberfläche der Haut.

1. Einleitung.

Die Frage, die im Folgenden behandelt werden soll, ist diese: die Nerven, die unsere Kälte-, Wärme- und Schmerzempfindungen vermitteln, enden sie in derselben Entfernung von der freien Hautoberfläche oder nicht?

¹ Der Redaction am 21. März 1901 zugegangen.

Vielleicht kann es merkwürdig erscheinen, eine Frage wie diese zum Gegenstand einer Untersuchung zu machen, bei der nicht histologische Methoden angewandt worden sind.

Wie sich aus dem Folgenden ergeben wird, kann man indessen ohne Anwendung des Mikroskopes auf eine mehr indirecte Weise eine Antwort auf diese Frage suchen.

Die Frage konnte natürlich nicht aufgestellt werden, bevor nicht, hauptsächlich nach Blix' (1)¹ Entdeckung der Kälte-, Wärme- und Druckpunkte, die Annahme von verschiedenen Nervenenden² für die verschiedenen Empfindungen, die auf der Haut ausgelöst werden können, zur Nothwendigkeit gemacht worden war. Blix, dessen Untersuchungen darauf abzielten, zu erforschen, in welchem Verhältniss die Hautempfindungen zu der Theorie der specifischen Sinnesenergieen ständen, hatte, als es ihm gelungen war, die Gültigkeit dieser Theorie darzuthun, keinen Anlass, auch nur die Frage nach der Tiefe der verschiedenen Nervenenden in der Haut aufzuwerfen (Blix nahm übrigens nicht an, dass specifische Schmerznerve in der Haut existiren). Aber auch Goldscheider, der sich doch mit Erscheinungen aus dem Gebiete der Hautsinne beschäftigt hat, denen gegenüber es nahe lag, sich zu fragen, ob die Kälte- und die Wärmenerven nicht in verschiedener Tiefe in der Haut enden, discutirt diese Frage nicht, sondern setzt stillschweigend voraus, dass sie in derselben Tiefe enden. Dieser stillen Annahme ist es zuzuschreiben, wenn er (2. S. 328 bis 340) zu dem Schluss kommt, dass der Unterschied zwischen den Apperceptionszeiten der Kälte- und Wärmeempfindung eine kleinere Reizbarkeit der wärmepercipirenden Endorgane voraussetze. Und indem er die Möglichkeit einer verschiedenen Tiefe bei den wärme- und schmerzpercipirenden Nervenenden (Goldscheider hält die letzteren für identisch mit den druckpercipirenden) übersah, glaubte er (2. S. 346 bis 354) in einer Vergleichung der Apperceptionszeiten der Wärme- bezw. Schmerzempfindungen bei starker Wärmereizung einen Weg gefunden zu haben, um den kleinsten wahrnehmbaren Wärmezuschluss zu den Wärmeendorganen zu bestimmen, und zwar, nachdem er auf eine andere Weise versucht hatte, die Reizschwelle des Wärmeschmerzes zu bestimmen.³ Und in der mathematischen Entwicklung der Tem-

¹ Die eingeklammerten Ziffern nach den Namen der Verfasser weisen auf den Litteraturnachweis am Ende der Abhandlung hin.

² „Die Nervenenden“ wird im Folgenden als ein zusammenfassender Ausdruck für die Endorgane und die freien Nervenenden oder diejenigen, die in nächstem Zusammenhang mit den Endorganen stehen, gebraucht.

³ Ein anderer, Goldscheider unbekannter Umstand, der auf die Rela-

peraturveränderungen in der Haut bei Einwirkung von Temperaturreizen, die Goldscheider (2. S. 355) hat ausführen lassen, wird die Schicht der Nervenenden als eine einzige unendlich dünne Fläche betrachtet.

Im Gegensatz hierzu hat Tanzi (3) wegen der kürzeren Reactionszeit der Kälteempfindungen auf die Möglichkeit einer oberflächlichen Lage der Kälteendorgane hingewiesen, und v. Frey (5. S. 153), der ja auch die besten Beweise für die Annahme spezifischer Schmerznerven gegeben hat, hat das Gleiche annehmen zu müssen gemeint wegen der Schwierigkeit, genau die Lage und die Begrenzung der Wärmepunkte zu bestimmen, wie auch wegen der langen Reactionszeit der Wärmeempfindungen. Er hat auch bewiesen (6. S. 249), dass die schmerzpercipirenden Nervenenden oberflächlicher als die druckpercipirenden liegen müssen. Auf denselben Prämissen wie v. Frey fussend, habe auch ich in einer früheren Abhandlung (7. S. 545) auf die Wahrscheinlichkeit hingewiesen, dass die Wärmenerven nicht so nahe an die freie Fläche der Haut heranreichen wie die Kältenerven. Auch Alrutz (8. S. 335) hat sich für diese Ansicht ausgesprochen auf Grund der Erfahrung, dass bei chemischer Reizung der Kälte- und Wärmepunkte die Kälteempfindung immer früher als die Wärmeempfindung eintritt.

Aber diese von Tanzi, v. Frey, mir selbst und Alrutz angegebenen Gründe sind nicht entscheidend; die längere Reactionszeit der Wärmeempfindung braucht nicht auf einer tieferen Lage der Wärmeendorgane zu beruhen, sie kann ja leicht durch eine geringere Reizbarkeit dieser Organe verursacht werden, wie es Goldscheider angenommen hat, und alle Möglichkeiten sind nicht einmal mit diesen beiden Annahmen erschöpft. So kann man sich ja z. B. denken, dass die lange Reactionszeit in einem längeren latenten Reizungstadium der Wärmeendorgane ihren Grund hat. Und die Schwierigkeit, die verschiedenen Wärmepunkte zu finden, die durch den oft schwachen und diffusen Charakter der Wärmeempfindung bei punktförmiger Reizung bedingt ist, kann ein Ausdruck des eigenen Charakters der Empfindung sein, und braucht nicht mit Nothwendigkeit als die Folge einer dicken, die Endorgane deckenden Hautlage angesehen zu werden.

Im Folgenden berichte ich über einige, zum grössten Theil bisher unbekannte Erscheinungen aus dem Gebiete der Hautsinne, die mir für die Frage nach der Tiefenlage der betreffenden Nervenenden in

tion zwischen den Apperceptionszeiten der bei Wärmereizung entstehenden Wärme- und Schmerzempfindungen einwirkt, ist die lange Latenzzeit der Schmerznervenenden bei schwacher Wärmereizung (v. Frey 6. S. 264; Verf. 4. S. 526).

der Haut wichtig zu sein scheinen. Die neuen Resultate gewann ich bei thermischer Reizung der erwärmten und abgekühlten Haut, und erstatte ich zunächst Bericht über die dabei von mir angewandte Methode.

2. Methode.

Ziel der Methode war es, theils eine Erwärmung, bezw. Abkühlung der Haut zu bewirken, theils der ihrem Wärmebestande nach veränderten Haut thermische Reize zuzuführen. Um ersteres zu erreichen, habe ich eine besondere Anordnung gebraucht, die ich im Folgenden der Kürze wegen „Temperator“ nenne. Die nachstehende Zeichnung (Fig. 1) giebt eine Vorstellung von diesem Temperator. Er

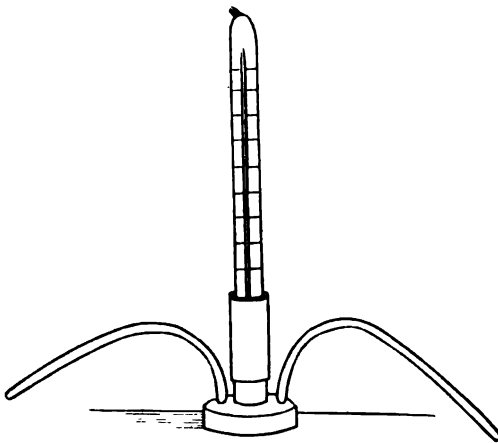


Fig. 1.

besteht aus einem niedrigen Metallgefäß, in dessen Oberfläche drei Rohre einmünden. Die beiden dünnen an den Seiten gelegenen dienen zum Zu- und Abfluss des Wassers, das weitere Mittelrohr bildet die Hülse eines Thermometers. In den meisten Fällen brauchte ich einen Temperator mit einer kreisrunden Bodenfläche von etwa $5\frac{1}{2}$ cm Durchmesser. Indem ein Wasserstrom constanter Temperatur durch den Temperator hindurch geführt wird, wird seine aus einem dünnen Messingblech bestehende Bodenfläche mit der Haut in Berührung gebracht, die dann, zufolge der guten Wärmeleitung durch den Boden des Temperators, als der constanten Einwirkung der Temperatur, die von dem Thermometer abgelesen wird, ausgesetzt angesehen werden

kann. Um bequem einen Wasserstrom constanter Temperatur herzustellen, benützte ich einen Fletcher'schen Wassererwärmungsapparat. Die dadurch bewirkte Gleichförmigkeit der Temperatur ist jedoch meistens nicht genügend. Ich habe daher die Anordnung noch mehr verfeinert durch die Einführung eines Elster'schen Gasdruckregulators in den Gaszufluss des Fletcher'schen Apparates (über Fletcher's und Elster's Apparate siehe z. B. Müncke's Katalog).

Um thermische Reize zuzuführen, bediente ich mich der von mir angegebenen Methode mit Metalllamellen verschiedener Dicke (7. S. 524). Eine kleine Veränderung der ursprünglichen Methode bestand darin, dass die Oberfläche der Lamellen auf 4^{qcm} vergrößert wurde. Die Empfindungen werden dadurch deutlicher. Ferner liegen die Lamellen an Kork, und nicht an Fliedermark an, weil es schwer ist, dieses in hinlänglich grossen Stücken zu bekommen. Die verschiedenen Exemplare dieser Metalllamellen werden im Folgenden „Reizlamellen Nr. . . .“ genannt, wobei die Nummer das Gewicht der Silberlamelle pro Quadratcentimeter angiebt.

Auch das Wasserbad, auf welches die Reizlamellen gestellt werden, erfuhr insofern eine Veränderung, als es die Form erhielt, welche die

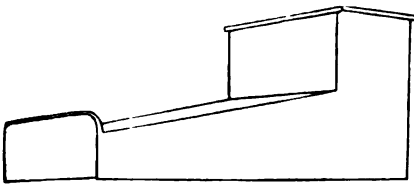


Fig. 2.

nebenstehende Zeichnung (Fig. 2) zeigt. Die Lamellen stehen hier also auf einer etwas schiefen Fläche, anstatt auf einer horizontalen, wie in dem früher gebrauchten Wasserbad. Dieses, wie es scheint, kaum erwähnenswerthe Detail ist

doch von einer gewissen Bedeutung. Hierdurch wird nämlich der besonders beim Halten des Wasserbades auf 100° bei der früheren Anordnung auftretende missliche Umstand vermieden, dass Gasblasen sich gegen die Platte ansammeln, die die horizontale Oberfläche bildet, und das Wasser durch die aufsteigenden Rohre pressen, wobei theils die auf dem Wasserbade placirten Apparate von dem auslaufenden Wasser leicht Schaden leiden, theils die bezweckte Berührung zwischen dem Wasser und der Platte, auf welche die Reizlamellen gestellt sind, nicht erreicht wird. Bei der neuen Form des Wasserbades werden die Gasblasen, so wie sie gebildet werden, an der schrägen Deckplatte hinauf der freien Oeffnung zugeführt.

Der in einer früheren Abhandlung (7. S. 526 bis 528) gegebenen Darstellung der Theorie meiner Methode der thermischen Reizung

dürfte Folgendes hinzugefügt werden, um einige Ausrechnungen zu motiviren, die später mitgetheilt werden sollen.

Die Methode bezweckt, der Haut verschiedene Wärmemengen zuzuführen, bzw. zu entziehen, und dieser Zweck wird leicht erreicht. Wenn z. B. sämtliche Reizlamellen auf 100° gehalten werden und die eine nach der anderen dann auf die Haut gesetzt wird, so führen sie der Haut um so mehr Milligramm-Calorien zu, je dicker sie sind. Eine exacte Berechnung dieser der Haut zugeführten Wärmemengen stösst dagegen auf Schwierigkeiten.

Wenn man vorläufig den idealen Fall voraussetzt, dass an der Wärmeausgleichung, die vor sich geht, wenn die Reizlamelle auf die Haut applicirt wird, nur die Reizlamelle und nicht die sie bekleidende Korkplatte theilnimmt, so kann man freilich leicht ausrechnen, wie viel Wärme die Reizlamelle der Haut zugeführt oder entzogen hat, wenn das Endstadium der Wärmeausgleichung erreicht ist. Unter der Voraussetzung, dass die Reizlamelle ausser nach der Haut, nach allen Seiten hin absolut wärmeisolirt ist, muss sie sowohl als die darunter liegende Haut in ihrer ganzen Dicke zuletzt die Bluttemperatur annehmen. Um die Wärmemenge zu berechnen, die von einer Reizlamelle von höherer Temperatur als der des Blutes (um der Einfachheit willen wird vorläufig vorausgesetzt, dass die Reizlamelle so temperirt ist) pro Quadratcentimeter abgegeben wird, braucht man nur die Differenz zwischen der Ausgangstemperatur der Reizlamelle und der des Blutes mit der Nummer der Reizlamelle und der specifischen Wärme des Silbers (hier = 0.06 gesetzt) zu multipliciren.

Aber dieses Endstadium der Wärmeausgleichung kann auf verschiedene Weise erreicht worden sein. Die Wärmeausgleichung kann sich so vollzogen haben, dass die Temperatur der Reizlamelle bei beständigem Sinken sich mit einer mehr und mehr abnehmenden Schnelligkeit der Bluttemperatur genähert hat, sie kann aber auch im ersten Stadium unter dieselbe heruntergehen, um sie erst später wieder zu erreichen. Ist nämlich der Wärmezuschuss, der pro Quadratcentimeter Haut erforderlich ist, um die eine niedrigere Temperatur als die des Blutes besitzenden Hautschichten auf diesen Wärmegrad zu bringen, grösser als die Summe des Wärmequantums, das die Reizlamelle pro Quadratcentimeter abgibt, wenn sie zur Bluttemperatur herabsinkt, und der Wärmemenge, die während dessen derselben Flächeneinheit der kälteren Hautschichten vom Blute her zu Theil wird, so muss die Wärmeausgleichung Anfangs dazu führen, dass die Reizlamelle unter die Bluttemperatur sinkt, um sie erst später wieder in Folge des fortgesetzten Wärmezuschusses vom Blute her zu erreichen.

Die von der Reizlamelle bei ihrem Herabsinken zur Bluttemperatur abgegebene Wärmemenge ist also nicht unter allen Verhältnissen ein Ausdruck für das maximale Wärmequantum, das in irgend einer Phase der Berührungszeit an die Haut abgegeben worden ist. Eine exacte Berechnung dieses Maximalwerthes stösst auf Schwierigkeiten. Man muss nämlich zu diesem Zweck quantitativ die Temperaturvertheilung in den verschiedenen Schichten der Haut und die specifische Wärme und Wärmeleitungsfähigkeit derselben kennen, was alles unbekannte und schwer bestimmbare Data sind. Einen oberen Grenzwert für diese maximale Wärmemenge kann man jedoch durch eine Berechnung der Wärmemenge gewinnen, die die Reizlamelle bei ihrem Herabsinken zu der Temperatur verliert, die die Hautfläche hatte, als die Reizlamelle darauf placirt wurde. (Wenn, der hier gemachten Voraussetzung zuwider, die Temperatur der Hautfläche mit der Bluttemperatur zusammenfällt oder sie übersteigt, so stellt der Wärmeverlust der Reizlamelle bei ihrem Herabsinken zu der letzteren zu gleicher Zeit einen Ausdruck ihres maximalen Wärmeverlustes dar.)

Zu dieser Berechnung muss man folglich die Temperatur der oberflächlichsten Schicht der Haut kennen. Diese kann direct gemessen werden, aber bei diesen Untersuchungen kann man sie gut selbst reguliren, indem man vermittelt des Temperators die Haut während einiger Minuten der Einwirkung einer constanten Temperatur aussetzt. Fällt der Wärmegrad des Temperators mit dem vorher auf der freien Hautfläche existirenden zusammen, so wird durch diese Berührung keine Aenderung des Wärmebestandes der Haut verursacht. Fallen diese Temperaturen nicht zusammen, so muss allmählich die Temperatur der verschiedenen Hautschichten sich zu einer neuen stationären Gleichgewichtslage einstellen, die durch die Grösse des Wärmezuschusses vom Blute her, und die des Wärmeverlustes nach Aussen bedingt ist. Zufolge der relativ sehr schlechten Wärmeleitungsfähigkeit der Epidermis im Vergleich mit der des Temperators kann die Temperatur der oberflächlichsten Hautschicht als identisch mit der des Temperators angesehen werden.

Indem man also den Wärmeverlust berechnet, den die Reizlamelle erleidet, wenn ihre Temperatur zu der Temperatur der freien Hautfläche herabsinkt, bekommt man einen Grenzwert, den die der Haut von ihr zugeführte Wärmemenge nicht überschreiten kann, den sie aber auch nicht erreicht.

Die durch die Reizlamellen verursachte Veränderung des Wärmebestandes der Haut ist im Vorhergehenden ohne Rücksicht auf die Reizung betrachtet worden, die dadurch in den in der Haut liegenden

Nervenenden bewirkt wird. Zu einem Vergleich der Reizung der Nervenenden in verschiedenen Fällen ist eine Berechnung der der Haut zugeführten Wärmemengen den eben angegebenen Principien gemäss nicht genügend. Sie giebt uns keine Antwort auf die Frage: wie viel Wärme muss der Haut zugeführt werden, um eine gewisse Empfindung hervorzubringen, z. B. eine minimale Wärme- oder Schmerzempfindung, oder eine solche Empfindung von anderer Intensität? Hat man z. B. gefunden, dass eine gewisse Reizlamelle, auf 100° gehalten, eine minimale Schmerzempfindung erregt, so ist es klar, dass nicht all' die Wärme, die durch die Lamelle am Ende der Wärmeausgleichung der Haut zugeführt ist, zur Hervorrufung der Schmerzempfindung beigetragen hat, denn im Verlauf der Wärmeausgleichung muss die Reizlamelle in einem gewissen Augenblick eine Grenztemperatur passiren, bei welcher sie nicht mehr als Schmerzreiz wirkt, aber doch noch immer der Haut Wärme abgiebt. Nur ein Theil der abgegebenen Wärmemenge ist also beim Hervorrufen der minimalen Schmerzempfindung wirksam, der andere ist für diesen Zweck unwirksam. Und auch für alle anderen Empfindungen gilt es, dass nur ein Theil der durch die Reizlamelle zugeführten Wärmemenge physiologisch wirksam ist. Um diese Wärmemengen, die bei der Erregung einer bestimmten Empfindung physiologisch wirksam sind, zu berechnen, muss man also vorerst die Temperaturen bestimmen, bei denen die Reizlamelle die Wirksamkeitsgrenze passirt. Diese vollständig zu präcisiren, hat jedoch seine Schwierigkeiten, und das gilt auch für eine exacte Angabe der physiologisch wirksamen Wärmemengen. Gewisse, für die Berechnungen in dieser Abhandlung anwendbaren Grenzwerthe können doch bestimmt werden.

Als Maximalgrenzwert der physiologisch wirksamen Wärmemengen, den diese freilich nie erreichen, ist für den gegenwärtigen Zweck der nach oben angegebenen Principien bestimmte Maximalwerth der während der Berührungszeit abgegebenen Wärmemengen anwendbar. Ein Minimalwerth der Wärmengen, die physiologisch wirksam sind, um eine bestimmte Empfindung zu erregen, wird erhalten, wenn man bei den Berechnungen von dem oberen Grenzwert für die Lage der Wirksamkeitsgrenze auf der Temperaturskala ausgeht, der dadurch erhalten wird, dass man die constante Temperatur bestimmt, die dieselbe Empfindung hervorruft. Wenn z. B. eine 100° gradige Reizlamelle eine gewisse minimale Schmerzempfindung verursacht, und dieselbe Sensation durch einen 47° gradigen Gegenstand von constanter Temperatur erregt wird, so kann die Wirksamkeitsgrenze der Reizlamelle in diesem Falle nicht oberhalb 47° liegen. Hätte nämlich

die Reizlamelle diese Empfindung verursacht, ehe ihre Temperatur unter 47° gesunken war, so hätte der fortgesetzte Wärmezuschuss von der Lamelle, bis diese Temperaturgrenze passirt war, noch mehr die Intensität der Schmerzsensation vergrössern müssen, da die Wärmeabgabe der Reizlamelle an die Haut, bis sie auf 47° gesunken ist, grösser als die eines 47 gradigen Gegenstandes sein muss. In solchem Falle hätte die Folge nicht die der Intensität nach minimale Empfindung werden können, um die es sich hier handelte. Oder wenn eine bestimmte Reizlamelle eine Wärmeempfindung bestimmter Intensität hervorruft, und eine gewisse constante Temperatur, z. B. 45° , dieselbe Wärmeempfindung erregt, so kann die Wirksamkeitsgrenze für die fragliche Reizlamelle zur Hervorrufung dieser Sensation nicht oberhalb 45° liegen. Denn hätte sie, ehe sie auf diesen Wärmegrad herabgesunken war, schon dieselbe Wirkung wie ein 45 gradiger Gegenstand ausgeübt, so hätte sie während ihres fortgesetzten Temperaturfalles eine erhöhte Intensität der Empfindung verursachen müssen, da die Wärmeabgabe der Reizlamelle an die Haut, bis ihre Temperatur auf 45° gesunken ist, grösser als die eines nur 45 gradigen Gegenstandes sein muss.

Durch die Bestimmung der constanten Temperatur, die eine Empfindung derselben Intensität wie eine bestimmte Reizlamelle hervorbringt, erhält man nur einen oberen Grenzwert für die Lage der Wirksamkeitsgrenze, weil bei der mehr plötzlichen Temperaturveränderung, die bei Anwendung von Reizlamellen hohen Wärmegrades eintritt, möglicher Weise dieselbe Empfindungsintensität bei einer geringeren Temperaturveränderung in den Nervenenden erreicht werden kann, als wie sie bei Reizung mit constanten Temperaturen erforderlich ist.

Indem man diesen oberen Werth für die Lage der Wirksamkeitsgrenze auf der Temperaturskala bei der Berechnung der physiologisch wirksamen Wärmemengen einführt, erhält man also für dieselben einen Minimalwerth. Als obere Grenze kann, wie schon erwähnt, der Grenzwert für den maximalen Wärmeverlust der Reizlamelle während der Berührungszeit gebraucht werden. Der Abstand dieser Grenzen ist zwar in vielen Fällen sehr gross, was jedoch nicht auf die Anwendbarkeit der auf diese Weise ausgeführten Berechnungen der physiologisch wirksamen Wärmemengen für meinen Zweck einwirkt.

Was ich hier von der Berechnung gewisser Grenzwerte der physiologisch wirksamen Wärmemengen bei Anwendung von Wärmereizen gesagt habe, gilt mutatis mutandis auch für die Berechnung der der Haut entzogenen Wärmemengen bei Anwendung von Kältereizen.

Bisher ist vorausgesetzt worden, dass die die eine Fläche der Reizlamellen bekleidende Korkplatte gar nicht an der Wärmeausgleichung theilnimmt, was jedoch natürlich der Fall ist. Um eine Vorstellung von dem Grade zu bekommen, in dem dieses geschieht, habe ich die niedrigste Temperatur bestimmt, welche Kork von der für die Reizlamellen verwendeten Beschaffenheit haben muss, um an einer Hautstelle mit dünner Haut eine minimale Schmerzempfindung zu erregen. Dies geschieht bei etwa 180° . Sodann habe ich mir einige Reizlamellen hergestellt, die nicht auf Kork geklebt waren, sondern mittels einiger kleinen, an der oberen Fläche ihrer Ecken befestigten Fliedermarkstücke ausgespannt gehalten wurden, die durch einen die Lamelle nicht berührenden Rahmen Festigkeit erhielten. An der Wärmeausgleichung, die stattfand, wenn diese Reizlamellen auf die Haut gesetzt wurden, nahm also nur die Reizlamelle selbst theil (dazu die kleinen Fliedermarkstücke, von denen jedoch, wie mir scheint, abgesehen werden kann). Ich suchte nun die Nummer zu bestimmen, die mit einfachem Kork gleichwerthig war, d. h. diejenige, die bei 180° eine minimale Schmerzempfindung hervorrief. Ich fand indessen, dass Nr. 15 — die dünnste Lamelle, über die ich verfügte — Schmerz schon bei 150° hervorrief. Ich musste mich also mit dem Schluss begnügen, dass die Wärmemenge, mit welcher der Kork an der Wärmeausgleichung theilnimmt, nicht derjenigen entspricht, die die Reizlamelle Nr. 15 fasst. Will man also in die Berechnungen einen oberen Grenzwert für die Wärmemengen des Korks einführen, so muss man die Zahlen, die die Nummer der Reizlamellen angeben, mit 15 vermehren.

* * *

Bei Anwendung der eben beschriebenen Methode treten unter besonderen Bedingungen einige beachtenswerthe Erscheinungen auf, über welche im Folgenden Bericht erstattet wird.

3. Die Entstehung einer überwiegenden Kälteempfindung bei einer gewissen Wärmereizung, und einer überwiegenden Wärmeempfindung bei einer anderen.

a) Ueber die paradoxe Kälteempfindung.

Es ist schon lange bekannt, dass bei Wärmereizung Kältesensationen entstehen können, und es mag daran erinnert werden, dass diese Thatsache zuerst von Strümpell (9. S. 6) an nervenkranken Personen entdeckt wurde. Als eine Erscheinung, die sich auch bei

Gesunden nachweisen lässt, wurde sie zuerst von Lehmann (10. S. 26) beschrieben. Derselbe erwähnt, dass die Kältepunkte mit einer Kälteempfindung auch bei Reizung mit erwärmten Spitzen reagiren. Seitdem hat v. Frey (5. S. 172), wie es scheint, ohne Lehmann's Angabe zu kennen, gefunden, dass einige Kältepunkte für hohe Temperaturen reizbar sind. Von ihm stammt der Name „paradoxe“ Kältesensationen für die auf diese Weise entstehenden Empfindungen. Kiesow (11. S. 586) hat v. Frey's Angaben bestätigt. Alrutz (8. S. 322) hat auf Grund seiner Untersuchungen die Ansicht ausgesprochen, dass alle Kältepunkte diese Reizbarkeit für hohe Temperaturen zeigen, und hat die Erscheinung bei flächenförmiger Reizung nachgewiesen (12. S. 343). Auch ich habe lange meine Aufmerksamkeit auf diese Erscheinung gerichtet. Und bei Alrutz (12. S. 345) findet sich eine von mir angegebene und angewandte Methode beschrieben, um die Entstehung einer Kälteempfindung bei Anwendung hoher Temperaturen nachzuweisen.

Da diese Kälteempfindungen mir von grossem Interesse erschienen, habe ich es mir angelegen sein lassen, die Methode für ihre Hervorbringung noch weiter zu verbessern, und nach einigen vorbereitenden Versuchen bin ich zu folgender Methode gekommen, die besonders deutliche paradoxe Kälteempfindungen giebt.

Der Versuch wird auf zwei Minuten lang mit einem Temperator von 45° erwärmter Haut angestellt. Der Reiz wird durch Reizlamellen, die auf einer Temperatur von 60 bis 70° gehalten sind, zugeführt. Am besten wählt man eine Stelle mit dünner Haut.

Wenn man nun auf die erwärmte Haut die Reizlamellen von den niedrigsten Nummern bis zu den höheren placirt, so findet man, dass die niedrigsten überhaupt keine Sensationen ausser einem Berührungsempfinden geben, und dass die erste Temperatursensation, die bei schwächster Reizung auftritt, eine Kälteempfindung ist. Vielleicht ist diese Sensation etwas, jedenfalls aber kaum merkbar, mit einer Wärmeempfindung gemischt. Nimmt man eine etwas höhere Nummer der Reizlamellen, so wird die Kälteempfindung besonders stark, die Wärmeempfindung bleibt dagegen fortgesetzt kaum merkbar. Schliesslich mischt sich auch Schmerz in die Sensationen.

Die Reizlamellen, die gebraucht werden müssen, sowie die Details des Versuches ersieht man aus folgendem Versuchsprotokoll.

Versuch I. Versuchsstelle: Volarseite des linken Unterarms, oberes Drittel. Berührung mit 45° gradigem Temperator während zwei Minuten, Reizlamellen auf 65° gehalten.

Lamellen 15 bis	40	nur Berührungsgefühl.
„	50	schwache, aber doch völlig deutliche Kälteempfindung (möglicher Weise mit einer Spur von Wärme gemischt).
„ 60 „	90	immer stärkere Kälte, kaum wahrnehmbare Wärme.
„	100	die starke Kälteempfindung vermischt sich am Ende mit einer Stichsensation. Wärme noch immer kaum wahrnehmbar.

Wenn eins der Momente, Temperatur oder Nummer der Reizlamellen oder Wärmegrad des Temperators oder Zeit, während der er die Haut berührt, zu sehr von den oben angegebenen Ziffern abweicht, tritt die Erscheinung nicht in ihrer vollen Deutlichkeit hervor, sondern Wärme- oder Schmerzensationen treten auf und mischen sich mit der Kälteempfindung in verschiedene Combinationen und verschiedener Zeitfolge. Zwar kann man, wenn die Erwärmung der Haut einigermaßen bedeutend ist, durch geeignetes Abpassen des Wärmegrades des Temperators und bei gleichzeitiger Aenderung der Temperatur und Nummer der Reizlamellen leicht andere Combinationen finden, bei welchen ziemlich reine Kälteempfindungen erhalten werden. Unter den oben angegebenen Versuchsbedingungen tritt indessen die Erscheinung in besonders deutlicher und auffallender Weise auf. Sie ist nämlich theils recht stark, theils auch frei von jeder gleichzeitigen, vorhergehenden oder nachfolgenden deutlicheren Wärmesensation, obgleich die Reizung auf Hautstellen mit ausgebildetem Wärmesinn vorgenommen wird.

Solche reine oder fast reine paradoxe Wärmeempfindungen sind freilich schon früher bei punktförmiger Reizung und von Alrutz (12. S. 348) bei flächenförmiger an Hautstellen, denen es an Wärmepunkten mangelt, beobachtet worden. Alrutz (12. S. 344) beschreibt ferner für Hautstellen, auf denen auch Wärmepunkte vorhanden sind, wo aber der Kältesinn besonders stark und der Wärmesinn besonders schwach ausgebildet ist, eine isolirte Kälteempfindung bei Wärmereizung. Diese ist jedoch nur hinsichtlich der Zeit isolirt, indem eine mehr oder weniger intensive heisse oder warme Empfindung ihr nachfolgt. Hier handelt es sich dagegen um eine auf Haut mit ausgebildetem Wärmesinn bei Wärmereizung auftretende isolirte Kältesensation, der kaum merkbar eine Wärmesensation sich zumischt oder folgt.

Es mag hier betont werden, dass bei diesen, bei hohen Wärmegraden auftretenden Kältesensationen erweislichermaßen eine Reizung der Kältenervenenden durch Temperatursteigerung stattfindet.

Dass hier wirklich eine Reizung der Kältenervenenden und nicht anderer Nerven vorliegt, daran kann Niemand zweifeln, der sich auf den Standpunkt des Gesetzes der spezifischen Sinnesenergieen stellt. Als Folge dieses Gesetzes kann wohl der Satz aufgestellt werden, dass, wenn eine bestimmte Empfindung eintritt, ein solcher Nerv gereizt worden ist, dessen spezifische Energie eben darin besteht, die fragliche Empfindung zu vermitteln.

Die einzige Angabe, die die Reizung der Kältenerven bei der Entstehung der paradoxen Kältesensationen in Zweifel stellen könnte, rührt von Rollett (13. S. 460) her, der gefunden zu haben glaubt, dass gewisse Schmerznerve eine Empfindung auslösen können, die von uns als gewöhnliche Kälte aufgefasst wird. Wäre diese Angabe richtig, so könnten möglicher Weise diese paradoxen Kälteempfindungen durch Reizung der betreffenden Schmerznerve entstanden sein. Ich habe aber die Ergebnisse der Versuche Rollett's nicht constatiren können, und seine Auffassung dürfte meines Erachtens unrichtig sein.

Man könnte sich jedoch denken, dass, obgleich ein Wärmereiz auf die Haut applicirt wird, in der Schicht der Kälteendorgane eine Temperaturerniedrigung doch in Folge einer auf reflectorischem Wege oder sonst entstandenen vasomotorischen Einwirkung vorhanden ist, dass also das Auftreten der Kälteempfindung eine Erscheinung sei, analog dem Kälteschauer aus psychischer Ursache, wo, obgleich kein Kältereiz auf die Haut wirkt, doch eine Kälteempfindung entsteht.

Dass dies indessen nicht der Fall ist, wird am besten dadurch bewiesen, dass die fragliche Kälteempfindung unter solchen Verhältnissen auftritt, bei denen jede Reizung der Kälteendorgane durch Temperaturveränderung auf vasomotorischem Wege ausgeschlossen ist. Auf einer Hautstelle, die durch anhaltende Berührung mit einem Temperator von Bluttemperatur in ihrer gauzen Tiefe diesen Wärmegrad angenommen hat, kann keine Temperaturherabsetzung stattfinden, wenn auch der Blutzufuss sich ändert. Aber auch auf so behandelter Haut entstehen diese paradoxen Kälteempfindungen bei geeigneter Reizung, z. B. mit 100 gradigen Reizlamellen, bis hinauf zu Nr. 60. Gegen die Beweiskraft dieses Versuches kann man einwenden, dass es schwer ist, dem berührenden Temperator genau den Wärmegrad des Blutes zu geben. Diese Einwendung hat keine Bedeutung, denn die Erscheinung tritt bei allen Wärmegraden des Temperators auf (36 bis 38), innerhalb welchen man denken kann, dass die Bluttemperatur variirt. Die Kälteempfindungen werden freilich nicht so deutlich wie auf mehr erwärmter Haut, weil die Wärmeempfindungen sich stärker darein mischen, es besteht aber keine Schwierigkeit, sie deutlich zu unterscheiden.

Es giebt noch eine andere Möglichkeit, die Kälteempfindung als auf einer Temperaturerniedrigung, nicht Steigerung der Kältenervenenden beruhend zu erklären. Bei der Wärmesteigerung, welche stattfindet, wenn eine hochgradige Reizlamelle auf die Haut gesetzt wird, muss die Temperaturveränderung der oberflächlichen Hautschichten in einer ersten plötzlichen Steigerung bestehen, der nachher eine Erniedrigung folgt, wenn die Wärme sich auch auf die tieferen Hautschichten vertheilt. Es lässt sich nun denken, dass die Kälteempfindungen durch diese Temperaturerniedrigung bei den Kälteendorganen verursacht wird.

Dass jedoch die Steigerung, nicht die Temperaturerniedrigung die Ursache der Kälteempfindungen ist, geht daraus hervor, dass eine solche erhalten werden kann, ehe eine Temperaturerniedrigung zu Stande gekommen sein kann. Wenn man nämlich statt einer 65 gradige Reizlamelle einen auf 55° gehaltenen Temperator auf die erwärmte Haut placirt, entsteht doch eine Kälteempfindung; sie ist nur wegen der schnell sich einstellenden Schmerzempfindung etwas schwer wahrzunehmen. Und beim Gebrauch dieses Temperators muss die Wärmeveränderung in den verschiedenen Hautschichten, so lange der Temperator nicht fortgenommen ist, sich in Form eines Ansteigens nach einem gewissen Werth hin ohne Senkung vollziehen. Da nun indessen die Kälteempfindung augenblicklich entsteht, und nicht erst, wenn der Temperator entfernt wird, so kann es nicht die Temperaturerniedrigung, sondern es muss die Steigerung sein, die sie erregt.

Die Kälteempfindung hört überhaupt auf, wenn der Temperator von der Haut entfernt wird, woraus man schliessen kann, dass die Kälteendorgane nicht für die dann eintretende Temperaturerniedrigung reizbar sind. In einer früheren Abhandlung (7. S. 555) habe ich nachgewiesen, dass die Kälteendorgane nicht für Abkühlung reizbar sind, ehe diese nicht unter eine gewisse Grenze, etwa 39°, heruntergeht. Vielleicht beruht das Aufhören der Kälteempfindung, wenn der Temperator von der Haut entfernt wird, darauf, dass wenigstens der erste und kräftigste Temperaturfall nicht 39° erreicht.

- b) Die Entstehung einer überwiegenden Kälteempfindung bei einer gewissen Wärmereizung, und einer überwiegenden Wärmeempfindung bei einer anderen.

Bei meinen Untersuchungen, deren Ziel es war, die günstigsten Bedingungen für das Zustandekommen paradoxer Kälteempfindungen ausfindig zu machen, fand ich, dass ich auf einer und derselben Hautstelle unter sonst gleichen Bedingungen abwechselnd überwiegende

Wärmeempfindungen oder überwiegende Kälteempfindungen hervorbringen konnte, wenn ich nur die zugeführte Wärmereizung änderte, was mir recht beachtenswerth erschien.

Ich beobachtete dies Verhalten an Haut, die nur eine kurze Zeit — etwa 15 Sec. — erwärmt war. Wenn ich auf die so erwärmte Hautstelle, nachdem ich mich durch vorhergehende Versuche von ihrem starken Wärme- und Kältesinn überzeugt hatte, 75 gradige Reizlamellen placirte, fand ich, dass die niedrigsten Nummern nur schwache und unbestimmte Empfindungen hervorriefen, und dass etwas höhere Nummern deutliche Kältesensationen verursachten, wobei Wärme nur unbedeutend hervortrat. Bei noch höheren Nummern mischte sich schliesslich ein stechender Schmerz zu.

Wenn ich dagegen auf die auf dieselbe Weise erwärmte Hautstelle einen Temperator placirte, dessen Wärmegrad nur unbedeutend denjenigen überstieg, mit dem die Haut erwärmt war — sogar derselbe Wärmegrad konnte gebraucht werden — erhielt ich deutliche Wärme- oder Hitzeempfindungen. Die Reizung der Wärmenerven trat also bei dieser Reizungsart mehr hervor.

Die Bedingungen für die Hervorrufung dieser Erscheinungen wechseln ein wenig für verschiedene Hautstellen; man muss nämlich die Zeit etwas ändern, während welcher die Haut erwärmt wird, um an den verschiedenen Hautstellen das beste Resultat zu erhalten. Nach wenigen Versuchen dürfte man sich leicht von der Richtigkeit dieser Beobachtungen überzeugen können. Folgendes Versuchsprotokoll zeigt die Nummern der gebrauchten Reizlamellen und die Weise, in der die Erscheinung auftritt.

Versuch II. Versuchsstelle: Volarseite des linken Unterarms, oberes Drittel; Berührung während 15 Secunden mit 45 gradigem Temperator; die Reizlamellen auf 75° gehalten.

Lamellen 15 bis 75 unbestimmte Empfindungen — sich zu schwachen, mit Wärme unbedeutend gemischten Kälteempfindungen erhebend;

„ 100 starke Kältesensation, besonders am Ende in Hitze hinüberspielend. Möglicher Weise auch schwache Schmerzsensation;

„ 125 bis 150 wie bei Nr. 100, Schmerz aber deutlich hervortretend.

Versuch III. Wie bei Versuch II, die Reizung aber mit einem 47 gradigen Temperator zugeführt, welcher eine physiologisch wirksame Basalfläche¹ von 4 qcm hat.

Eine deutliche Wärme- (Hitze-) Sensation entstand dabei.

¹ Die Basalfläche im Ganzen genommen war 6 qcm gross, wovon aber 2 qcm

Wenn die Erwärmung bedeutend länger als die oben angegebene Zeit, 15 Sec., fortgesetzt wird, erhält man freilich bei Reizung mit den hochgradigen Reizlamellen deutliche Kältesensationen, dagegen nehmen die Wärmesensationen, die bei der geringgradigen Reizung entstehen, an Deutlichkeit ab und sind bei hinlänglich andauernder Erwärmung (2 Minuten) kaum merkbar.

Einen Umstand, der bei der Constatirung dieser Sache besonders irreführt, und über den ich mir erst spät klar wurde, will ich noch erwähnen.

Wenn ich, nachdem ich während 2 Minuten eine Hautstelle mit einem 45 gradigen Temperator von etwa 22^{qcm} Fläche erwärmt hatte, unbedeutend wärmeres, z. B. 46 gradiges Wasser, durch diesen führte und ihn noch einmal auf die Haut niedersetzte, genau darauf achtend, dass er seinen alten Platz erhielt, so trat eine deutliche Wärmesensation auf, die, so viel ich finden konnte, an der ganzen Berührungsfläche des Temperators localisirt war. Ich glaubte lange, hieraus schliessen zu können, dass der Wärmesinn, wenigstens nicht in höherem Grade, an der während 2 Minuten erwärmten Hautstelle geschwächt war — aber mit Unrecht.

Ich fand nämlich, dass beim Gebrauch von Temperatoren mit bedeutend kleinerer Fläche — 3 bis 6^{qcm} — auf der vorher während 2 Minuten mit 45° erwärmten Haut fast keine Wärmeempfindung entstand, auch wenn Wasser von ziemlich hohem Wärmegrad, 50°, durch ihn geleitet wurde. Ich war Anfangs geneigt, dies auf den grossen Einfluss zurückzuführen, den die Grösse der Berührungsfläche auf die Deutlichkeit der Empfindungen ausübt, aber ich fand, dass, auch wenn ich die vorher erwähnte Hautstelle mit einem Temperator reizte, der nicht nennenswerth kleiner war als der, mit welchem die Haut erwärmt war (Basalfläche etwa 16^{qcm}), nur eine schwache Wärmeempfindung auftrat, wenn er nur so placirt wurde, dass eine schmale Zone ihn überall von der Grenzlinie zwischen der erwärmten und der nicht erwärmten Haut trennte.

Die scheinbare Fortdauer der Wärmeempfindung, wenn die Reizung mit demselben Temperator, mit dem die Haut erwärmt war, zugeführt wurde, erklärte sich offenbar daraus, dass Wärme zu der vorher nicht erwärmten Haut hinausgeleitet wurde und dort Wärmesensationen

physiologisch unwirksam waren, weil sie mit hinlänglich dickem Papier bedeckt waren, durch welches seiner schlechten Wärmeleitungsfähigkeit zu Folge die Wärmeausgleichung sich so langsam vollzog, dass sie, wie sich zeigte, vernachlässigt werden konnte.

hervorrief, die indessen an der Berührungsfläche des Temperaiors localisirt wurden.

4. Die Entstehung einer überwiegenden Schmerzempfindung bei einer gewissen Wärmereizung, und einer mehr hervortretenden Wärme- und Kälteempfindung bei einer anderen.

Bei einer anderen Anordnung der Methode habe ich gefunden, dass bei schwächster Wärmereizung, welche Schmerz verursacht, keine starke Hitzeempfindung entsteht, wie man es erwarten könnte, sondern der Schmerz nur wenig mit Wärme oder Kälte gemischt ist. Die Bedingung dafür, dass diese Erscheinung in all ihrer Deutlichkeit aufetrete, ist, dass der Versuch auf während drei Minuten mit ungefähr 10 gradigem Temperator abgekühlter Haut angestellt wird, dass die Reizlamellen auf hoher Temperatur, z. B. auf 100°, gehalten sind, und dass die Haut an der Untersuchungsstelle (nicht vola manus) nicht zu dick ist. Wenn man die Reizlamellen von den niedrigsten bis zu den höchsten Nummern nach einander auf die abgekühlte Hautstelle placirt, findet man, dass die dünnsten eine kaum merkbare Wärmeempfindung hervorbringen und dass, ehe eine solche deutliche Empfindung entsteht, eine feine, stechende Schmerzempfindung auftritt.

Wenn die Haut nicht lange oder kräftig genug abgekühlt ist, wenn die Reizlamellen keine hinlänglich hohe Temperatur haben, wenn die Epidermis nicht dünn genug ist, tritt die Wärmeempfindung deutlicher bei der Reizstärke hervor, bei der Schmerz auftritt. Das Verhältniss zwischen der Intensität der Schmerzempfindungen und der der Wärmesensationen ändert sich indessen hierbei umso mehr zum Vortheil der ersteren, je mehr man sich den Bedingungen für die Erreichung der fast isolirten Schmerzempfindung nähert.

Von grundlegendem Gewicht für die Erklärung dieser Erscheinungen ist nun, dass deutliche und starke Wärmeempfindungen, wie auch weiter Kältesensationen, wenn diese letzteren auch nicht besonders stark sind, auf der abgekühlten Hautstelle ausgelöst werden können, ehe die Schmerzschwelle erreicht ist, wenn man nur Lamellen von niedrigerer Temperatur oder eine andere Wärmereizung niedrigen Grades gebraucht.

Folgendes Versuchsprotokoll wird als Beispiel, sowie für einige Berechnungen im Folgenden mitgetheilt.

Versuch IV. Versuchsstelle: Volarseite des linken Unterarms, oberes Drittel; die Haut während 3 Minuten mit 10 gradigem Temperator abgekühlt. Reizlamelle auf 100° gehalten.

Reizlamellen 15 bis 175 schwache, kaum merkbare Wärmeempfindungen;

„ 200 eine minimale Schmerzempfindung; die Wärmeempfindung noch immer sehr schwach;

„ 300 die Schmerzempfindung ziemlich stark, die Wärmeempfindung ungefährs wie bei Nr. 200.

Versuch V. Wie bei Versuch IV, die Reizlamellen aber auf 60° gehalten.

Reizlamellen 15 bis 1000 schwache Wärmeempfindung;

„ 1200 die Wärmeempfindung jetzt ziemlich stark;

„ 1500 die starke Wärmeempfindung mischt sich mit schwacher Schmerzsensation.

Versuch VI. Wie bei den Versuchen IV und V; die Reizung aber mit 48gradigem Temperator von 4^{cm} wirksamer Berührungsfläche zugeführt.

Eine dauernde, nicht besonders starke Wärmesensation, in der gegen das Ende hin Spuren von Kälte vorkommen. (Die Empfindungen werden viel deutlicher, wenn man grössere Flächen anwendet.)

* * *

Das hier erwähnte Auftreten von überwiegendem Schmerz bei gewisser Wärmereizung (Versuch IV), während bei einer anderen solchen minimalen Schmerzreizung Empfindungen überwiegender Wärme oder deutlicher Kälte auftreten (Versuch V und VI), ebenso wie das analoge Auftreten von überwiegender Kälte bei gewisser Wärmereizung (Versuch II), während bei einer anderen solchen (Versuch III) eine überwiegende Wärmeempfindung entsteht; dies alles sind Erscheinungen, scheint es mir, die beachtenswerth sind.

Während nämlich die Versuche III, V und VI darauf hinzudeuten scheinen, dass das Minimum perceptibile bei Wärmereizung für die Wärmeendorgane bedeutend niedriger und für die Kältenervenenden etwas niedriger als für die Schmerznervenenden liegt, scheinen dagegen die Versuche II und IV auf eine relativ viel grössere Empfindlichkeit der Kältenervenenden, bezw. Schmerznervenenden als im vorigen Falle hinzudeuten.

Während das in den Versuchen III, V und VI hervortretende Verhältniss zwischen den Minima perceptibilia für die Wärme-, Kälte- und Schmerznervenenden mehr in Uebereinstimmung mit dem steht, was wir bisher über die Hautsinne wussten, so ist dies nicht der Fall mit den Erscheinungen, die die Versuche II und VI zeigen.

Es entsteht also die Frage: wie ist das durch diese Versuche exemplificirte Auftreten von überwiegender Kälte, bezw. überwiegendem Schmerz bei Wärmereizung zu erklären?

Ich wende mich hier zunächst zu dem Auftreten der überwiegenden Kälteempfindung.

5. Die Ursachen der Entstehung einer überwiegenden Kälteempfindung bei einer gewissen Wärmereizung.

Die Antwort auf die Frage nach den Ursachen des so isolirten Auftretens der Kälteempfindung bei einer gewissen Reizung, während bei einer anderen die Reizung der Wärmenerven überwiegt (Versuch II und III), muss natürlicher Weise in einer Analyse der Versuchsbedingungen gesucht werden.

Für die Entstehung dieser Erscheinung war erforderlich, dass die Haut erwärmt war. Der Effect dieser Erwärmung kann theils physiologisch, theils physikalisch sein. Als physikalischen Effect rechne ich den Einfluss, den die durch die Erwärmung verursachte Veränderung des Wärmebestandes der Haut auf den Verlauf der Temperaturveränderung ausüben muss, wenn ein thermischer Reiz auf der Haut applicirt wird. Zu den physiologischen Wirkungen rechne ich die Reizbarkeitsveränderungen, welche in den Nervenenden durch Erwärmung, Ermüdung und ähnliche Momente entstehen.

Es liegt nun nahe, anzunehmen, dass durch die Berührung der Haut mit dem warmen Temperator, wodurch eine starke Wärmeempfindung erregt wurde, die Wärmeendorgane durch den langdauernden Reizzustand, in den sie versetzt worden waren, so ermüdet wurden, dass ihre Reizbarkeit gegenüber der der Kältenervenenden so gesunken war, dass beim Uebergang von schwacher Reizung zu stärkerer die Wärmesensationen derartig schwach sind, dass sie, wenn die Kälteempfindung entsteht, fast ganz übersehen wird.

Hierzu mag bemerkt werden, dass, wenn auch, wie möglich ist, die Reizbarkeit der Wärmeendorgane in Folge der Erwärmung gesunken, oder wenn auch die Reizbarkeit der Kältenervenenden für Wärmereiz gestiegen ist, was ja auch möglich ist (siehe weiter unten), doch die Thatsache da ist, dass man bei Anwendung von Wärmereizen niedrigen Grades, z. B. eines Temperators von nur wenig höherer oder von derselben Temperatur, als die war, mit der die Haut erwärmt wurde, unter gewissen Bedingungen (siehe Versuch III) starke und deutliche Wärmesensationen erhalten kann, in denen die Kälteempfindung sich wenig geltend macht; die oben vorausgesetzte Veränderung der Reizbarkeit der Kälte- und Wärmenervenenden existirt also zum Mindesten nicht für jede Reizung in dem Grade, dass das Auftreten der überwiegenden Kälteempfindung dadurch erklärt wird.

Wollte man also diese Erscheinung durch rein physiologische Reizbarkeitsveränderungen erklären, so müsste man untersuchen, ob durch die vorhergehende Erwärmung die Relation zwischen der Reizbarkeit der Wärme- und Kältenervenenden nur für bestimmte Wärmereizung

sich verändert hatte. Ehe man aber diese Möglichkeit discutirt, dürfte es angebracht sein, zuzusehen, ob nicht die physikalischen Verhältnisse in einfacherer Weise die Sache erklären können.

Welcher ist der physikalische Effect der Erwärmung der Haut mit dem Temperator?

Durch die anhaltende Berührung der Haut mit dem oberhalb der Körpertemperatur gehaltenen Temperator muss der Wärmefall der Haut geändert sein. Während in normaler Haut die oberflächlichsten Hautschichten die kühlpsten sind und die Temperatur der Haut gegen die Tiefe immer zunimmt, der Wärmefall also in der Richtung von innen nach aussen geht, muss er durch die Erwärmung in entgegengesetzte Richtung gebracht werden, je mehr man sich dem Schlusss Stadium nähert, wo die verschiedenen Hautschichten die Temperatur angenommen haben, welche durch den stationären Wärmezuffluss von aussen und den Verlust nach innen bedingt ist; die Haut wird also, wenn dieses Stadium erreicht ist, von innen durch das Blut abgekühlt, aber von aussen erwärmt. Während ein Wärmereiz von höherer Temperatur als der des Blutes auf nicht erwärmter Haut mit der Blutwärme zusammenwirkt, bis die sämmtlichen Schichten die Bluttemperatur angenommen haben, so wirkt ihm dagegen die Blutwärme entgegen, sobald in Folge einer vorhergehenden Erwärmung der Temperaturfall in der Richtung von aussen nach innen eingetreten ist. Auch wenn man nicht das Schlusss Stadium der Wärmeausgleichung erreicht hat, weil die Berührungszeit zwischen der Haut und dem Temperator zu kurz war, muss die Erwärmung doch in der Richtung gewirkt haben, dass der Reiz immer weniger in seiner temperatursteigernden Wirkung von dem Blute unterstützt wird, bezw. ihm immer mehr von dem Blute aus entgegengewirkt wird.

Welches ist nun der physikalische Unterschied zwischen den verschiedenen Reizen?

Die beinahe isolirte Kälteempfindung wird durch Reizlamellen von relativ hoher Temperatur, z. B. 65°, hervorgerufen, während sie bei Anwendung von Wärmereizen niedrigeren Grades, aber grösserem Zufluss von Wärme ausbleibt. Analysirt man nun, wie die Temperaturveränderung in dem einen und anderen Falle geschieht, so ergibt sich, dass bei Zufluss einer begrenzten, aber hochgradigen Wärmemenge die Temperatureausgleichung so geschehen muss, dass, wenn sie nur die oberflächlichsten Hautschichten getroffen hat, die Temperatur derselben sehr hoch gestiegen ist. Je tiefer dagegen die Hautschicht liegt, um so weniger wird sie von der Wärmesteigerung getroffen, weil die begrenzte Wärmemenge sich auf eine immer grössere Masse vertheilt.

Braucht man dagegen eine constante Temperatur als Reizmittel, so wird auch in diesem Falle die Temperatursteigerung grösser in den oberflächlicheren Hautschichten als in den tiefer gelegenen; aber diese tieferen Schichten werden doch mehr gereizt als bei dem vorigen Reizmittel. Die Anwendung von begrenzten hochgradigen Wärmemengen kann man also als einen unvergleichlich kräftig afficirenden Reiz der oberflächlichsten Hautlagen betrachten, die Anwendung von Wärmereizen niedrigeren Grades und mehr unbeschränkter Wärmecapacität dagegen als eine relativ günstige Reizungsart der tieferen Hautschichten, wenn auch in diesem Falle die Wärmefluctuation absolut grösser in den oberflächlichen Schichten sein muss.

Da man nun bei einer vorwiegend die oberflächlichen Hautschichten treffenden Reizung vor Allem eine Kälteempfindung, bei tieferer Reizung dagegen kräftige Wärmeempfindungen erhält, so ist der natürliche Schluss der, dass die Kältenerven oberflächlicher als die Wärmenerven endigen.

Geht man von dieser Annahme aus, so bieten die durch die vorhergehende Erwärmung veränderten physikalischen Verhältnisse der Haut nebst den Eigenthümlichkeiten, welche die Wärmeausgleichung bei den verschiedenen Reizungsarten charakterisiren, Möglichkeiten dar, die auf den ersten Blick überraschende Erscheinung des so isolirten Auftretens der Kälteempfindung zu erklären. Die Erklärung ist diese: die durch eine hoch temperirte Reizlamelle zugeführte Wärmemenge verursacht eine kräftige Temperatursteigerung in den oberflächlichen Hautschichten und reizt so die dort liegenden Kältenervenenden; da die Wärmeausgleichung sich in die Tiefe fortpflanzt, nimmt die Temperatursteigerung in starker Progression ab, wobei auch der wärmeausgleichende Einfluss des Blutes derselben entgegenwirkt, oder wenigstens nicht mit ihr in solchem Grade wie bei gewöhnlich temperirter Haut zusammenwirkt. Die Folge ist, dass die Reizung nur unbedeutend das Minimum perceptibile für die in den tieferen Schichten liegenden Wärmeendorgane trotz der grossen Reizbarkeit derselben übersteigt.

Ob und in wie weit die Erscheinung auch auf physiologischen Reizbarkeitsveränderungen der Kälte- und Wärmenervenenden beruht, ist schwer zu sagen. Um dies zu erforschen, würden quantitative Berechnungen der physikalischen Faktoren sehr wünschenswerth sein, durch welche entschieden würde, ob sie zur Erklärung ausreichen oder nicht.

Solche Berechnungen habe ich nicht anstellen können. Indessen dürfte meines Erachtens darauf hinzuweisen sein, dass die Erwärmung auf eine besondere Weise eine veränderte Reizbarkeit der Wärme- und Kältenervenenden für Wärmereize verursachen kann.

Die Erwärmung der Haut muss den Effect des sie treffenden

Wärmereizes insoweit beeinflussen, als die dadurch verursachte Wärme-
steigerung in jeder einzelnen Hautschicht zum Ausgangspunkt einen
höher auf der Temperaturskala liegenden Wärmegrad hat, als wenn
der Reiz normal temperirte Haut trifft.

Bei normal temperirter Haut müssen sowohl die Kälte- als die
Wärmenervenenden einen Wärmegrad zwischen dem des Blutes (etwa
37°) und der freien Hautfläche (gewöhnlich zwischen 30 und 33°)
haben; bei einer Haut, die hinlänglich lange mit einem 45gradigen
Gegenstand erwärmt ist, dagegen einen Wärmegrad zwischen 37 und
45°. Es ist nun sehr wahrscheinlich, dass die Wärmenervenenden
relativ wenig reizbar für eine Temperatursteigerung sind oberhalb des
Wärmegrades, den sie annehmen müssen, wenn der Temperaturfall
bei der Berührung der Haut mit einem 45gradigen Temperator sein
stationäres Stadium erreicht hat. Das scheint mir aus der oben S. 397
erwähnten Thatsache hervorzugehen, dass eine Hautstelle, die während
zwei Minuten mit einem 45gradigen Temperator erwärmt ist, nur
eine sehr schwache Wärmeempfindung giebt, wenn der Wärmegrad des
Temperators auf 50° erhöht wird. Man kann nämlich daraus schliessen,
dass die Reizung mit dem 50gradigen Temperator nur wenig mehr
physiologisch wirksam ist als die mit dem 45gradigen. Sonst müsste
man annehmen, dass die Endorgane durch Ermüdung für einen
schwächeren Reiz auch ihre Reizbarkeit für einen sehr viel stärkeren
verloren haben — was sehr unwahrscheinlich ist.

Eine gewisse Temperatursteigerung, die die Wärmeendorgane trifft,
wenn sie die niedrigste Temperatur, die maximal die Wärmenerven-
enden reizt, erreicht oder sich ihr genähert hat, übt also wahrschein-
lich eine geringere Wirkung aus als dieselbe Temperatursteigerung,
wenn sie die normal temperirten Endorgane trifft.

Die Rolle dagegen zu präcisiren, die dieser Umstand bei der Ent-
stehung der hier berührten überwiegenden Kälteempfindung spielt, ist
nicht möglich, da ich nicht weiss, in welchem Grade die Wärmeend-
organe nach 15 Secunden langer Berührung mit dem 45gradigen Tem-
perator sich der Temperatur genähert haben, die sie nach einer zwei
Minuten langen Berührung mit demselben haben, und auch nicht, wie
die Reizbarkeit sich verhält, ehe diese Temperatur erreicht ist.

Hinsichtlich der Kältenervenenden ist es wahrscheinlich, dass sie
für Wärmereizung mehr reizbar sind oberhalb des Wärmegrades, auf
den sie durch die vorhergehende Erwärmung gebracht sind, als bei
der Temperatur, die sie bei normal temperirter Haut haben.

Ich werde später auf meine Gründe für diese Annahme zurück-
kommen (S. 426).

Es bleibt indessen dabei, dass es in dem hier vorliegenden speziellen Falle nicht möglich ist, den Einfluss zu präcisiren, den dies Verhältniss auf die Entstehung der überwiegenden Kälteempfindung gehabt hat.

Wenn aber auch die hier erwähnten Reizbarkeitsveränderungen existiren, so können sie nicht allein ohne Weiteres, wie schon oben gesagt, das Auftreten der überwiegenden Kälteempfindungen erklären, weil ja bei gewisser Reizung (Versuch III) die Reizbarkeit der Wärmeendorgane deutlich überwiegt, sondern sie sind in diesem Falle nur als unterstützendes Moment bei dem Auftreten der Erscheinung zu betrachten. Dieses Auftreten beruht vor Allem auf einer verschiedenen Tiefenlage der Nervenenden und auf einer unverhältnissmässig starken Reizung der oberflächlichen Hautschichten.

* * *

Das oben Gesagte bezieht sich auf das Auftreten überwiegender Kälteempfindung auf Haut, auf der bei anderer Reizung deutliche Wärmeempfindungen ausgelöst werden können.

Was dagegen die Entstehung der isolirt auftretenden paradoxen Kälteempfindungen betrifft, wovon Versuch I ein Beispiel war, und welche eine anhaltende Erwärmung der Haut erforderten, so gilt auch für diese dieselbe Erklärung, nur mit dem Unterschiede, dass es bewiesen ist, dass die Reizbarkeitsveränderungen hier mitspielen, die die Nervenenden für Reize zwischen den höher auf der Temperaturskala liegenden Grenzen zeigen, innerhalb welchen hier die Wärmefluctuation stattfindet.

6. Die Ursachen der Entstehung einer überwiegenden Schmerzempfindung bei einer gewissen Wärmereizung.

Da es uns vor Allem aus der einfachen Annahme, dass die Kältenerven oberflächlicher als die Wärmenerven endigen, gelungen ist, das Auftreten einer überwiegenden Kälteempfindung bei Wärmereizung zu erklären, so liegt es nahe, das Auftreten der überwiegenden Schmerzempfindung auf genügend abgekühlter Haut aus der Annahme zu erklären, dass die Schmerznerven noch oberflächlicher als die beiden anderen Arten wärmepercipirender Nerven endigen.

Ohne diese Annahme lässt sich die fragliche Erscheinung nur sehr schwer erklären. Denn es geht nicht an, sie als ganz und gar auf einer Veränderung der Lage der verschiedenen Reizschwellen beruhend zu deuten. Dies zeigen die Versuche V und VI, wo deutliche Wärme-

bezw. Kälteempfindungen bei schwächerer Reizung auftreten als die Schmerzempfindungen.

Hätte man sich also nur auf die möglicher Weise durch die Abkühlung verursachten physiologischen Reizbarkeitsveränderungen zu stützen, so müsste man voraussetzen, dass diese Veränderungen nur für eine gewisse Art von Wärmereizung gelten. Eine solche Annahme ist aber ganz unnöthig, da ja das Auftreten der isolirten Schmerzempfindung bei Anwendung dünner, hochgradiger Reizlamellen, also einer Reizung, die die oberflächlicheren Schichten sehr kräftig beeinflussen muss (siehe S. 402), darauf hindeutet, dass die Schmerznerven noch oberflächlicher als die beiden anderen Arten wärmeempfindlicher Nerven endigen.

Eine Stütze und ziffernmässige Beleuchtung findet diese Auffassung, dass die überwiegend Schmerz hervorrufenden Reizlamellen in ihrer Wirkung auf die tieferen Hautschichten nicht den überwiegend Wärme hervorrufenden Reizlamellen gleichwerthig, sondern unterlegen sind, in einer Berechnung der Wärmemengen, die physiologisch wirksam sind bei der Hervorrufung der schwachen Wärmeempfindung, die bei Reizung mit der 100 gradigen Lamelle Nr. 200 (siehe Versuch IV) entsteht, und in einem Vergleich zwischen diesen und den für denselben Zweck zu Gebote stehenden Wärmemengen bei Reizung mit der 60 gradigen, auch kaum schmerz hervorrufenden Reizlamelle Nr. 1500 (siehe Versuch V).

Um die ersteren zu berechnen, muss man nach dem, was in dem Abschnitt über die Methode gesagt ist, die constante Temperatur bestimmen, die eine Wärmeempfindung von derselben Intensität wie die der fraglichen Reizlamellen erzeugt.

Bei dem Versuche, diese constante Temperatur zu bestimmen (ein Temperator von 4^{cm} wirksamer Fläche wurde gebraucht), stiess ich auf unerwartete Schwierigkeiten.

Es war mir nämlich unmöglich, auch wenn ich die Temperaturscala von 10 bis 55° durchging, eine constante Temperatur zu finden, die eine Wärmeempfindung erregte, identisch mit der durch die 100 gradige Reizlamelle Nr. 200 verursachte. Die durch den Temperator hervorgerufenen Sensationen dauerten länger und nahmen langsamer an Stärke zu. Dieser Uebelstand hätte indessen dadurch überwunden werden können, dass ich mich nur an die maximale Intensität der Empfindungen hielt. Ich habe jedoch trotz vieler und wiederholter Versuche nicht die Möglichkeit ausschliessen können, dass die von dem Temperator erzeugten Empfindungen ihrer Qualität nach sich von denjenigen unterscheiden, die die Reizlamelle hervorruft. — Angesichts

dieser Thatsache habe ich mich gefragt, was solch' einen Qualitätsunterschied verursachen könnte, und ich habe mir die Sache auf folgende Weise gedacht.

Es ist möglich, dass die durch die Reizlamelle neben der minimalen Schmerz sensation hervorgerufene Wärmeempfindung durch Reizung nicht nur der Wärmenervenenden, sondern auch der Kältenervenenden bewirkt ist, und folglich der Nomenclatur Alrutz' (12) gemäss besser schwach heiss genannt werden sollte.

Es ist da sehr wahrscheinlich, dass eine gewisse constante Temperatur dieselbe Reizung der Wärmenerven wie die fragliche Reizlamelle bewirkt, während es dagegen eine andere ist, die die Kältenerven auf dieselbe Weise wie die Lamelle reizt. In diesem Falle gebe es keine constante Temperatur, die allein die beiden Nerven in derselben Weise wie die Lamelle reizt.

Unter solchen Verhältnissen wäre in der That die Frage nach der constanten Temperatur, die der Reizlamelle gleichwerthig ist, um die fragliche Empfindung zu erregen, unvollständig formulirt. Eine Temperatur ist ihr hinsichtlich der Reizung der Wärmenerven gleichwerthig, eine andere hinsichtlich der der Kältenerven. Könnte man diese beiden Temperaturen genau bestimmen, so hätte man die Werthe, die nothwendig sind, um die wirksamen Wärmemengen bei Reizung der Wärme- bzw. Kältenervenenden durch die Lamelle zu berechnen, aber eine solche Bestimmung ist nicht ausführbar, weil es nicht möglich ist, die genaue Stärke der supponirten beiden Componenten in den verschiedenen Empfindungen zu kennen; überhaupt kann ich keine Kältesensation in der durch die Reizlamelle erzeugten Empfindung wahrnehmen; dagegen scheint eine solche, schwach und spät kommend, in der durch den 40- und mehrgradigen Temperator erregten beobachtet werden zu können.

Schon eine ungefähre Bestimmung der wirksamen Wärmemengen schien mir jedoch von Interesse zu sein. Als Ausgangspunkt für diese Bestimmung nahm ich die Temperatur, die eine Empfindung verursacht, die, trotz des Unterschiedes in Zeitverlauf und Qualität, hinsichtlich ihrer Intensität die durch die betreffende Reizlamelle erzeugte Sensation zu übertreffen schien. Selbst diese Bestimmung erhebt in Folge des vagen und unbestimmten Charakters der fraglichen Empfindung Schwierigkeiten. Nach einer ganzen Reihe von Versuchen bin ich indessen bei 45° stehen geblieben.¹

¹ Es überrascht, dass solch ein hoher Werth eingeführt werden musste; dies aber steht im Zusammenhang mit der grossen Herabsetzung der Reizbarkeit,

Wenn man nun mit Hülfe dieses Werthes die bei der Hervorrufung der betreffenden Wärmesensation physiologisch wirksamen Wärmemengen berechnet, so erhält man als unteren Grenzwert, wenn die Temperatur der Reizlamelle bis auf 45° sinkt, 660 Milligr.-Calorien, als oberen Grenzwert bei ihrem Sinken bis auf 10° 1080 Milligr.-Calorien.

Die 60gradige Reizlamelle Nr. 1500 giebt dagegen bei ihrem Sinken bis auf 45° 1350 Milligr.-Calorien ab, und als äussersten Grenzwert für die Wärmemenge, die sie überhaupt abgeben kann, erhält man 4500 Milligr.-Calorien.

Wenn die Correction für die Wärmemenge vorgenommen wird, die von der Korkplatte kommt, und die ja bei der 100gradigen Reizlamelle grösser sein muss, so wird die Proportion zwischen den erhaltenen Werthen etwas, aber unbedeutend, geändert. Anstatt 1350 bis 4500 Milligr.-Calorien erhält man 1363.5 bis 4545, und anstatt 660 bis 1080 709.5 bis 1161 Milligr.-Calorien.

Aus diesen Berechnungen ergibt sich also, dass die 60gradige Reizlamelle Nr. 1500 mehr Wärme als die 100gradige Nr. 200 abgiebt.

Unter so bewandten Umständen ist es ja ganz natürlich, dass der Effect auf die Tiefe bei Anwendung der eben noch schmerz-erregenden 100gradigen Reizlamelle nicht so stark ist, wie bei Anwendung der 60gradigen.¹

Wenn auch die Grenzwerte, innerhalb welcher die bei der Hervorrufung der betreffenden Empfindungen wirksamen, bzw. zu Gebote stehenden Wärmemengen sich bewegen, etwas über einander geschoben sind, wenn also z. B. der obere Grenzwert für die 100gradige Reizlamelle Nr. 200 sich über den unteren Grenzwert für die 60gradige Reizlamelle Nr. 1500 schiebt, hätte man doch allen Anlass gehabt zu der Annahme, dass im letzten Falle eine grössere Wärmemenge disponibel gewesen war. Denn der wirkliche Werth für die wirksamen

die Wärme- und Kältenervenenden bei abgekühlter Haut zeigen (siehe weiter unten).

¹ Dass solche Berechnungen nicht im Vorhergehenden für die wirksamen Wärmemengen beim Auftreten einer deutlichen Wärmeempfindung auf erwärmter Haut, bzw. für die für denselben Zweck zu Gebote stehenden Wärmemengen der Lamellen, die eine fast isolirte Kälteempfindung hervorrufen, mitgetheilt worden sind, beruht darauf, dass ich in diesen Fällen, um möglichst deutliche Sensationen zu erhalten, einen Temperator als Reizmittel anwenden musste. Die durch ihn zugeführten Wärmemengen lassen sich nicht nach den oben erwähnten Principien in Zahlen ausrechnen, weshalb ich also in diesem Falle von einem zahlenmässigen Vergleiche absehen muss.

Wärmemengen liegt sicherlich viel näher dem Minimalwerth für die Grenzen, innerhalb welcher er sich hier bewegt, als dem Maximalwerth, und so lange die Minimalwerthe in den beiden Fällen hinlänglichen Abstand von einander haben, kann man allein von diesen aus mit Wahrscheinlichkeit auf die Relation zwischen den wirksamen Wärmemengen schliessen. In dem hier erwähnten Falle fallen indessen die Grenzen ganz und gar ausserhalb einander. Ich habe daher nicht nöthig gehabt, von dem eben erwähnten Verhältniss Gebrauch zu machen.

[Wie wichtig es ist, besonders einen oberen Grenzwert für die bei der Hervorrufung einer gewissen Empfindung physiologisch wirksamen Temperaturen zu haben, zeigt sich, wenn man in seine Berechnungen andere Werthe für diese Temperaturen einführt. Führt man nämlich immer höhere und höhere Temperaturen ein, so bekommt man schliesslich denselben unteren Grenzwert für die Wärmemengen, die in beiden Fällen physiologisch wirksam, bezw. disponibel sind. Führt man noch höhere Temperaturen ein, wird das Verhältniss umgedreht, so dass in der obigen Berechnung der Minimalwerth für die wirksamen Wärmemengen bei der 100gradigen Reizlamelle Nr. 60 grösser sein würde als derselbe Werth für die 60gradige Reizlamelle Nr. 1500.]

Wenn indessen das isolirte Auftreten der Schmerzempfindung lediglich auf hinreichend oberflächlicher Reizung beruhte, so hätte man Anlass zu erwarten, dass man auch auf nicht abgekühlter Haut mit hochgradigen, aber dünnen Reizlamellen ziemlich reine Schmerzempfindungen erhalten könnte. Dies ist aber nicht der Fall. Wenn die Reizlamellen auch auf 150° gehalten werden, mischt sich die Wärmeempfindung recht deutlich in die minimale Schmerzempfindung, wenn man nur die Untersuchung an Haut mit genügend ausgebildetem Wärmesinn und mit Lamellen von ziemlich grosser Fläche — 4 qcm — anstellt (bei Reizlamellen von 1 qcm Oberfläche wird die Wärmeempfindung oft so schwach, dass sie übersehen wird). Die Abkühlung muss also eine bestimmte Bedeutung für die Entstehung der isolirten Schmerzempfindung haben.

Wie wirkt nun die Abkühlung? Vielleicht durch die dadurch bewirkten physikalischen Veränderungen im Verlauf der Wärmeausgleichung, oder durch solche physiologischer Art, diese Begriffe im oben definirten Sinne genommen?

Physikalisch wirkt die Abkühlung so, dass ein heftiger Wärme-fall von innen nach aussen verursacht wird. Die Wärmemenge, die in der Zeiteinheit jede Fläche der Haut passirt, wächst zufolge der

der vergrösserten Differenz der Temperaturen der inneren und der oberen Fläche der Haut.

In keinem von diesen Momenten liegt etwas, das den temperatursteigernden Effect einer Wärmereizung auf die tieferen Schichten vermindern könnte.

Auch nicht der Umstand, dass der Temperaturunterschied zwischen der Haut und der 100gradigen Reizlamelle grösser ist als zwischen dieser und normal temperirter Haut, kann benutzt werden, um zu erklären, dass in dem einen Falle eine ganz isolirte Schmerzempfindung auftritt, in dem anderen Falle nicht.

Denn, wie schon gesagt, auch wenn auf 150° gehaltene Reizlamellen auf der normal temperirten Haut gebraucht werden, so dass also die Differenz zwischen der Temperatur der Reizlamellen und der der Haut grösser ist als beim Versuch auf abgekühlter Haut, erhält man dennoch von der minimal schmerzzerregenden Lamelle eine deutlichere Wärmeempfindung auf der normal temperirten Haut, als auf der abgekühlten.

Da also die physikalischen Verhältnisse die Bedeutung der Abkühlung für die Entstehung der isolirten Schmerzempfindungen nicht erklären können, muss ihre Bedeutung in von ihr bewirkten Reizbarkeitsveränderungen bestehen, die darin resultiren, dass, obgleich die Wärme- und Kältenervenenden noch immer mehr reizbar sind, als die Schmerznervenenden, wie das aus den Versuchen V und VI hervorgeht, doch der Unterschied in der Reizbarkeit nicht so gross ist, als bei normal temperirter Haut.

Eine solche Aenderung der Proportion zwischen der Reizbarkeit der Schmerznervenenden einerseits und der der Kälte- und Wärmenervenenden andererseits kann entweder durch erhöhte Reizbarkeit der ersteren, oder durch verminderte Reizbarkeit der letzteren verursacht sein.

Es besteht kein Anlass, anzunehmen, dass die Reizbarkeit der Schmerznervenenden durch die Abkühlung auf die bei diesen Versuchen gebrauchte Temperatur von 10° erhöht ist. Gewisse Untersuchungen von Boeri und Silvestri (14) sprechen im Gegentheil dafür, dass die Empfindlichkeit der Schmerznervenenden durch Abkühlung herabgesetzt wird. Diese Untersuchungen lassen sich jedoch nicht auf den gegenwärtigen Fall vollständig anwenden, da bei ihnen hochgradigere Abkühlung angewandt wurde. Was den vorliegenden Fall besonders betrifft, habe ich theils auf normal temperirter Haut, theils auf solcher, die während 3 Minuten mit einem 10gradigen Temperator abgekühlt war, die niedrigste Temperatur zu bestimmen gesucht, die eine mini-

male Schmerzempfindung erregte, wie auch die Empfindungen verglichen, die bei überminimalen Reizen entstehen.

Die Haut des linken Unterarms wurde mit einem Temperator von ungefähr 22[°] Fläche abgekühlt, und der Reiz durch einen solchen von etwa 16[°] Fläche zugeführt. Ich konnte hierbei lange keinen ausgeprägten Unterschied zwischen dem Minimum perceptibile für Wärmeschmerz in beiden Fällen finden. Aber nach wiederholten Versuchen habe ich mich doch davon überzeugt, dass das Minimum perceptibile ein wenig höher liegt bei abgekühlter Haut.

Passte ich nämlich einen solchen Wärmegrad des Temperators ab, dass er auf normaler Haut nur eine schwache, vorübergehende Stickempfindung erregte, so wurde keine solche auf der abgekühlten Hautstelle gefühlt. Dieser Wärmegrad wechselte für verschiedene Hautstellen; auf der rechten Volarseite des Unterarms, nahe an der Falte des Ellbogens, war er 48°. Schon eine Steigerung dieser Temperatur mit $\frac{1}{2}$ bis 1° rief jedoch minimale Schmerzempfindungen an der abgekühlten Hautstelle hervor.

Wandte ich etwas höhere Temperaturen, 50 bis 55° an, die auf normaler Haut dauernde und lebhafte Schmerzempfindungen erregten, so entstanden solche Empfindungen auch auf der abgekühlten Haut, doch war der Schmerz hier, besonders im Anfang, schwächer als auf der normalen Haut.

Zu feineren Details konnte ich nicht kommen, da die Anordnung, die ich brauchte (siehe S. 386), nicht genügend constante Temperaturen gab, indem oft Schwankungen von $\frac{1}{2}$ bis 1° vorkamen, was bei dieser Bestimmung sehr viel bedeutet.

Man darf aus diesen Untersuchungen nicht den Schluss ziehen, dass die Reizbarkeit des Schmerzsinnens nur unbedeutend durch die Abkühlung beeinflusst wird. Man muss sich nämlich bei Folgerungen betreffs der Reizbarkeit der Nervenenden daran erinnern, dass zu gleicher Zeit, da der Wärmereiz als solcher wirkt, er auch den Abkühlungszustand aufhebt und folglich einen restituirenden Effect auf die möglicher Weise veränderte Reizbarkeit ausübt.

Hieraus folgt auch, dass, wenn man keine veränderte Reizbarkeit für Wärmereize gefunden hätte, man auch überhaupt kein Recht gehabt hätte, Schlüsse zu ziehen. Hat man dagegen, wie im vorliegenden Falle, eine, wenn auch unbedeutende Steigerung des Minimums perceptibile des Wärmeschmerzes trotz des restituirenden Effectes der Wärme angetroffen, so hat man a fortiori das Recht, auf eine verminderte Reizbarkeit der Schmerznervenenden zu schliessen.

Die Bedeutung der Abkühlung der Haut für das Auftreten der

überwiegenden Schmerzempfindung kann also in keiner erhöhten Reizbarkeit der Schmerznervenenden liegen.

Es bleibt übrig, die Einwirkung der Hautabkühlung auf die Reizbarkeit der Wärme- und Kältenervenenden für Wärmereize zu untersuchen.

Dass die Reizbarkeit der Wärmeendorgane für Temperatursteigerung bei Abkühlung sinkt, ist von Goldscheider (2. S. 144. 150 und 284) bewiesen worden. Selbst habe ich in einem vorhergehenden Aufsatze (7. S. 553) Versuche mitgeteilt, bei welchen ich gefunden habe, dass die Wärmeendorgane für Temperatursteigerung unterhalb einer gewissen absoluten Grenze (23°) sehr unempfindlich sind. Hierbei muss ich jedoch bemerken, dass diese Untersuchungen nicht ohne Weiteres sich auf die Verhältnisse einer normalen Haut anwenden lassen, weil sie an anämischer Haut angestellt sind.

Uebrigens habe ich speciell die Sache auf während drei Minuten mit einem 10gradigen Temperator abgekühlter Haut untersucht und dabei gefunden, dass man freilich auf denselben schon bei einer Temperatur, die nur mit einigen Graden 10° übersteigt, minimale Wärmeempfindungen hervorrufen kann, dass also Adaptation für eine sehr niedrige Temperatur eingetreten ist, die Wärmeempfindung aber besonders schwach ist, wenn man auch mit ziemlich hohen Temperaturen reizt. Vergleicht man die Wärmeempfindungen, die theils auf dieser 10gradigen, theils auf normal temperirter Haut bei Anwendung einer Temperatur entstehen, die nur einige Grade höher als die der normalen Hautfläche, z. B. 37°, ist, so findet man, dass die normale Haut eine stärkere Wärmeempfindung als die abgekühlte giebt, trotz des so viel grösseren Temperaturunterschiedes zwischen dem Reize und der Haut und der dadurch bedingten kräftigeren Wärmeveränderung in letzterem Falle und trotz der bei der abgekühlten Haut eingetretenen Adaptation für einen niedrigen Wärmegrad.

Eine bedeutende Verminderung der Reizbarkeit der Wärmeendorgane muss also durch die Abkühlung verursacht worden sein.

Auch die Reizbarkeit der Kältenervenenden gegen Wärme ist in bedeutendem Maasse durch die langdauernde Abkühlung gesunken; ich komme später auf meine Gründe für diese Behauptung zurück (siehe S. 426).

Unter solchen Verhältnissen ist es wahrscheinlich, dass der Einfluss, den die verminderte Reizbarkeit der Schmerznervenenden auf das Verhältniss der Reizbarkeit der ungleich thermisch empfindlichen Nervenenden ausüben könnte, durch eine noch mehr herabgesetzte

Reizbarkeit der beiden anderen Arten von Nervenenden übercompensirt ist.

Die Erklärung für das isolirte Auftreten der Schmerzempfindung ist also folgende: die angewandten 100gradigen, dünnen Reizlamellen wirken besonders kräftig auf die oberflächlich liegenden Schmerznerven, aber ziemlich schwach auf die tiefer endenden Kälte- und Wärmenervenenden. Durch die vorhergehende Abkühlung ist die Reizbarkeit der letzteren so gesunken, dass keine isolirt wahrnehmbare Kälteempfindung entsteht, und dass die auftretende Wärmeempfindung sehr schwach wird.

Dass die Schmerzempfindung dagegen bei normal temperirter Haut nicht isolirt auftritt, sondern sich dort mit Wärme- und Hitzeempfindung auch bei oberflächlicher Reizung mischt, erklärt sich daraus, dass die kleinste Wärmemenge, die überhaupt zur Reizung der Schmerznerven hinreicht, gross genug ist, um bei ihrer Vertheilung auf die tieferen Schichten in bedeutendem Grade die dort liegenden Wärme- und möglicher Weise Kältenervenenden zu reizen.

7. Schluss auf die Tiefenlage der Nervenenden.

Die bisher beschriebenen Erscheinungen finden also hauptsächlich ihre Erklärung in der Annahme, dass die Schmerznervenenden am oberflächlichsten enden und für Wärmereize am wenigsten reizbar sind, dass demnächst die Kältenerven und am tiefsten die am meisten reizbaren Wärmenerven enden. Diese Erscheinungen geben zu gleicher Zeit einen guten Beweis ab für die Richtigkeit dieser Annahme über die gegenseitige Lage der Nervenenden.

Wie im Vorhergehenden hervorgehoben ist, würde die Annahme, dass die Nervenenden in derselben Tiefe enden, voraussetzen, dass diese Nervenenden unter sonst gleichen Bedingungen ihre gewöhnliche gegenseitige Reizbarkeit für Wärmereize niedrigeren Grades beibehalten, dagegen bei Reizung mit höheren Temperaturen eine andere gegenseitige Reizbarkeit zeigen. Die einzige Differenz, die bei diesen verschiedenen Reizungsarten die Temperaturveränderung in der Schicht der Nervenenden darbieten kann, ist die, dass sie bei Reizung mit hochgradigen Reizlamellen schneller verläuft.

Die Wärmenervenenden sollten folglich bei erwärmter Haut relativ unempfindlich für eben die Schnelligkeit der Temperatursteigerung sein, die eine recht isolirte Kältesensation erregenden Reizlamellen charakterisirt; und die Wärme- und Kältenervenenden sollten bei abgekühlter Haut relativ unempfindlich für die Schnelligkeit der Tem-

peratursteigerung sein, die von der Lamelle hervorgerufen wird, die die recht isolirte Schmerzempfindung hervorbringt — wenn überhaupt die Annahme derselben Tiefenlage der verschiedenen Nervenenden soll aufrecht erhalten werden können.

Ich habe nun kein Mittel finden können, die Möglichkeit solcher Reizbarkeitsverhältnisse vollständig auszuschliessen, denn bei der verwendeten Methode ist eine die oberflächlichen Schichten in bestimmtem Uebergewicht treffende Temperatursteigerung von bestimmter Intensität unauflöslich verbunden mit einer gewissen Schnelligkeit dieser Wärme-steigerung. Ich kann also nicht die Intensität der Temperatursteigerung und die Relation, in der die verschiedenen Hautschichten an der Wärmeausgleichung theilnehmen, unverändert beibehalten, während ich die Schnelligkeit variire, mit der die Temperatursteigerung erreicht wird. Bei mitteltiefer und mittelstarker Reizung verhält sich die Sache ebenso, und eine besser anwendbare Methode stand mir nicht zu Gebote. Die oben vorausgesetzten Reizbarkeitsverhältnisse sind indessen sehr unwahrscheinlich.

Es scheint mir nämlich sehr wenig glaublich, dass Wärme-, bezw. Wärme- und Kältenervenenden eine so herabgesetzte Reizbarkeit für eben die Geschwindigkeiten der Temperaturveränderung zeigen sollten, die bei Anwendung der Reizlamellen auftreten, durch die recht isolirte Kälte-, bezw. Schmerzsensationen hervorgerufen werden, denn die Geschwindigkeit dieser Veränderungen dürfte nicht sehr viel von derjenigen verschieden sein, auf welche diese Nervenenden deutlich und stark reagiren.

Unter solchen Verhältnissen muss ich annehmen, dass die hier mitgetheilten Versuche freilich nicht exact beweisen, aber doch ausserordentlich wahrscheinlich machen, dass die Schmerznerven am oberflächlichsten, tiefer die Kältenerven und am tiefsten die Wärmenerven endigen.

Hiermit ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass die Schmerznerven auch Nervenenden in den tieferen Hautschichten haben können, z. B. in demselben Niveau, in dem die Kältenervenenden liegen, und dass auch diese beiden Arten von Nervenenden in der Schicht der Wärmeendorgane vorkommen können. Directe Schlüsse, ob dies der Fall ist, können übrigens aus den oben gegebenen Untersuchungen nicht gezogen werden. Auch die Möglichkeit ist nicht ausgeschlossen, dass ausnahmsweise z. B. die Wärmenerven sehr oberflächlich enden können, wofür übrigens die factisch vorhandene Existenz sehr empfindlicher Wärmepunkte spricht. Die oben gezogenen Schlüsse gelten nur für die allgemeine Anordnung.

*

*

*

Bei der Applicirung von Reizen niedrigeren Grades, Temperaturen zwischen 42 und 45°, fängt die Empfindung sehr schwach und mit einem Charakter an, der, so viel ich finden kann, als schwach warm bezeichnet werden muss; erst später nimmt sie einen mehr heissen Charakter an. Dieses spätere Hervortreten der Empfindung „heiss“ zeigt also, dass hier die Zeit der Apperception für die Reizung der Kältenerven länger ist als für die der Wärmenerven.

Bei der Anwendung etwas höherer Temperaturen tritt dagegen die Empfindung schon von Anfang an als „heiss“ auf. Die hierzu erforderliche Temperatur wechselt ein wenig, je nach der Untersuchungsstelle. An einigen Stellen, an dem Gesicht z. B. oberhalb der Backenknochen, geschieht das schon bei 45 bis 46°. An anderen Stellen und im Allgemeinen erst bei 48 bis 50°.

Dieses augenblickliche Auftreten der Empfindung „heiss“ bei einer Reiztemperatur von zwischen 45 und 50° zeigt also, dass bei diesen Temperaturen die Zeiten der Apperception für die Reizung der Kälte- und Wärmenerven dieselben sind.

Geht man hinauf zu höheren constanten Temperaturen, so kann man nach dem, was Alrutz (12. S. 344) mittheilt, bisweilen wahrnehmen, dass eine sehr schnelle Kältesensation der dominirenden Empfindung „heiss“ vorangeht, der Zeitunterschied aber ist hier so kurz und die Intensität der Kältesensation so schwach, dass es schwer

nicht analysirbar ist, so ist es eigentlich nicht richtig, den Ausdruck „paradoxe Kälteempfindung“ für den auf die Reizung der Kältenerven kommenden Theil derselben zu gebrauchen, wie auch den Ausdruck „Wärmeempfindung“ für den auf die Reizung der Wärmenerven kommenden Theil. Um unbequeme Umschreibungen zu vermeiden, werden jedoch diese Ausdrücke trotz ihrer möglichen Verkehrtheit gebraucht.

Gegen meine Anwendung des Ausdrucks „Apperceptionsreiz“ kann man auch in gewissen Fällen einwenden, dass, wenn man die Sensation „heiss“ für eine nicht analysirbare Empfindung hält, der Ausdruck Apperception von Wärme und Kälte überhaupt nicht berechtigt ist. Diese Empfindungen werden percipirt, aber nicht appercipirt, wenn man Helmholtz' (16. S. 107) Nomenclatur folgen will.

Uebrigens scheint mir diese Alrutz'sche Auffassung der Empfindung „heiss“ nicht richtig zu sein. Bei gleichzeitiger und an derselben Stelle localisirter Reizung der Kälte- und Wärmenerven wird immer, scheint es mir, die überwiegende Sensation appercipirt, was auch nach geeigneter Uebung der Fall mit der weniger hervortretenden ist, wenn sie nur nicht zu schwach ist. Auf den schwächeren Component lässt sich meines Erachtens Helmholtz' (16. S. 111) Ausspruch über die Obertöne anwenden.

Um nicht in jedem besonderen Falle präcisiren zu müssen, welcher Ausdruck zu gebrauchen ist, bediene ich mich immer des Ausdrucks „Apperception“.

ist, sie wahrzunehmen; der Versuch gelingt nach Alrutz ein wenig besser, wenn man hochtemperirte — 65- bis 100gradige — Reizlamellen auf normaler Haut anwendet; aber auch dies bietet der Wahrnehmung Schwierigkeiten dar. Mir scheint der Versuch am besten zu gelingen, wenn man ihn auf erwärmter Haut vornimmt. Eine Hautstelle mit ausgeprägt wärmeempfindlicher und dünner Haut, z. B. die Haut der Ellbogenfalte, wird während 5 bis 10 Secunden mit einem 45gradigen Temperator erwärmt und nachher mit den Nummern bis 200 der auf 60° gehaltenen Reizlamellen gereizt. Man erhält da eine Empfindung, deren erstes Glied eine deutliche Kälteempfindung ist, zu der später eine Wärmeempfindung hinzukommt. Je nach der benutzten Hautstelle muss man die Erwärmung und die Nummern ein wenig variiren, aber nach einigen Versuchen dürfte man die Richtigkeit dieses Versuches controliren können.

Diese Wahrnehmungen haben nun ihre einfache Erklärung in der verschiedenen Tiefe und Reizbarkeit der Kälte- und Wärmenervenenden.

Der tieferen Lage der Wärmenervenenden zu Folge müssen diese immer später von der Temperaturveränderung getroffen werden, als die Kältenervenenden. Es bedarf dagegen einer kräftigeren Wärme-fluctuation, um diese letzteren zu reizen. Wenn nun die Reizungs-curve langsam steigt, erreicht der Reiz die Wärmenervenenden und reizt sie, ehe er in der Schicht der Kältenervenenden das Minimum perceptibile überschritten hat. Die Apperceptionszeit für die Reizung der Wärmenervenenden ist also in diesem Falle die kürzere. Je steiler die Reizungscurve steigt, desto schneller wird das Minimum perceptibile für die Kältenervenenden überschritten. Schliesslich werden diese so schnell gereizt, dass die Reizung die Wärmenervenenden nicht zuvor erreicht oder wenigstens nicht das Minimum perceptibile für dieselben überschritten hat. Die Reizung der Kältenervenenden zeigt also jetzt die kürzere Apperceptionszeit. Zwischen diesen beiden extremen Fällen wird die Reizschwelle zu gleicher Zeit in den beiden Schichten überschritten — die Apperceptionszeit ist dieselbe für beide Empfindungen.

Betrachtet man nun die Bedingungen, unter welchen die Apperceptionszeiten in veränderter Proportion auftreten, so muss wirklich die Reizungscurve relativ langsam steigen, wenn die Wärmenerven die kürzeste Apperceptionszeit zeigen; dies trifft ja bei Reizung mit einem etwa 45gradigen Reize zu. Im Verhältniss hierzu muss die Reizungs-curve schnell ansteigen, wenn die Kälteempfindung mit der kleinsten Apperceptionszeit auftritt; dass ist ja der Fall, wenn man z. B.

60gradige Reizlamellen auf erwärmter Haut gebraucht, und der Effect auf tiefere Schichten muss unverhältnissmässig stark durch die vorhergehende Erwärmung vermindert werden; vielleicht spielen hier auch Reizbarkeitsveränderungen mit. Im Vergleich mit diesen beiden Extremen muss die Reizungscurve mittelsteil sein, wenn die Apperceptionszeiten dieselben sind, was bei der Anwendung constanter Temperaturen zwischen 45 und 50° eintrifft.

Wenn ich im Vorhergehenden gezeigt habe, dass die Zeit für die Apperception der Reizung der Kältenerven mit Wärmereizen länger sein kann als die, welche die Apperception der Reizung der Wärmernerven erfordert, so habe ich dies auf eine Analyse der Art gebaut, in der die Empfindung „heiss“ zu einer bestehenden Wärmeempfindung — dieses Wort im beschränkten Sinne genommen — hinzutritt. Indessen lässt leicht die Bestimmung des Zeitpunktes für das Ende der einen und den Anfang der anderen Sensation ein Gefühl der Unsicherheit zurück.

Man kann indessen auch unabhängig von einer Analyse der Sensation „heiss“ die längere Apperceptionszeit dieser Kältesensation nachweisen. Bei gewissen, von Wärme erregten Sensationen tritt nämlich die später als die Wärmeempfindung kommende Kälteempfindung so deutlich auf, dass es gar nicht schwer ist, sie wahrzunehmen.

Dies ist der Fall, wenn man auf eine während $\frac{1}{2}$ bis 1 Minute mit einem 10 gradigen Temperator abgekühlte Hautstelle mit dünner Haut (z. B. die Volarseite des Unterarms, das obere Drittel) einen 45 gradigen Temperator placirt. Man erhält da zu Anfang eine deutliche Wärmeempfindung, zu der nach einer Weile eine deutliche Kältesensation hinzukommt.

Die lange Apperceptionszeit der Kältesensation in diesem Falle beruht ganz sicher darauf, dass die Kältenervenenden durch die vorhergehende Abkühlung auf einen ziemlich niedrigen, absoluten Temperaturgrad gebracht worden sind, wonach sie eine bedeutende Wärmersteigerung erfahren müssen, ehe sie gereizt werden.

Die oben beschriebene Art, eine Kälteempfindung mit kürzerer Apperceptionszeit gegenüber der Wärmeempfindung zu erlangen, ist auch ein wenig schwer wahrzunehmen, weil die Empfindungen so schnell aufeinander folgen und von relativ kurzer Dauer sind.

Man kann indessen diese kürzere Apperceptionszeit der Wärmeempfindung auf eine andere Weise darthun, bei welcher diese Ungelegenheiten nicht existiren.

Erwärmt man nämlich eine Stelle mit dünner Haut (z. B. die Volarseite des Unterarms, das obere Drittel) während zwei Minuten

mit einem 45gradigen Temperator und placirt dann dort einen 48gradigen, so erhält man zuerst eine anhaltende, reine Kältesensation, die später von einer freilich nicht starken, aber doch vollständig wahrnehmbaren Wärmesensation begleitet wird.

Die Erklärung des früheren Auftretens der Kältesensation in diesem Falle kann nicht in einer den oberflächlichen Schichten unvergleichlich günstigen Reizung gesucht werden, sondern liegt wahrscheinlich in den Reizbarkeitsveränderungen, die durch die Erwärmung hervorgerufen sind. Die Reizbarkeit der Wärmeendorgane ist gesunken und die der Kältenervenenden gestiegen (vgl. S. 397 und 426).

Ausser dem Wechsel der Apperceptionszeiten wird durch die Annahme einer verschiedenen Tiefenlage der Endorgane auch das verschiedene Auftreten der Kälte- und Wärmeempfindungen bei gleichwerthiger Reizung erklärt. Die Kältesensation stellt sich schnell in ihrer vollen Stärke ein, die Wärmesensation dagegen schwillt langsam an (siehe z. B. Goldscheider, 2. S. 331).¹

Dies gilt auch für die Verschiedenheiten, die beim Aufsuchen der Kälte- und Wärmepunkte sich darbieten. Unter diesen Verschiedenheiten ist es besonders eine, die mir von Interesse erscheint, die nämlich, dass die Wärmepunkte schwerer von ihrer Umgebung abzugrenzen sind, — „grösser“ sind als die Kältepunkte (v. Frey, 5. S. 183; Alrutz, 8. S. 326). Diese Angaben weisen nämlich auf eine Möglichkeit, die Tiefenlage der Kälte- und Wärmeendorgane auf physikalisch exacte Weise zu untersuchen, indem man nämlich nach Art der von v. Frey in seinen Studien über die Schmerz- und Druckpunkte angewandte Methode numerische Bestimmungen des Verhaltens der Reizschwelle macht, theils bei Anwendung warmer und kalter Spitzen mit verschieden grosser Berührungsfläche, theils unmittelbar über dem supponirten Endorgane und in der nächsten Umgebung desselben.

Ob solch eine äusserst minutiöse Bestimmung praktisch ausführbar ist, das lasse ich dahingestellt sein.

Im Vorhergehenden sind keine Erscheinungen bei thermischer Reizung behandelt worden, die mit der oberflächlichen Lage der Schmerznervenenden in Zusammenhang gebracht werden können. Freilich war es meine ursprüngliche Absicht, auch die relative Apper-

¹ Goldscheider gebrauchte bei den hier erwähnten Untersuchungen auch so starke Reize, dass sicherlich eine paradoxe Reizung der Kältenervenenden stattfand. Wenn aber auch dieser ihm nicht bekannte Umstand in gewissen Fällen vielleicht die Auffassung, die er vorträgt, modificiren kann, so bleibt doch dieser Unterschied zwischen dem Auftreten der Kältesensation und der Wärmesensation.

ceptionszeit des Wärmeschmerzes zu behandeln, aber ich fand bald, dass absolute Reaktionszeitbestimmungen für diesen Zweck nothwendig sind, weil die lange Latenzzeit des Wärmeschmerzes bei schwacher, thermischer Reizung (Verf. 4. S. 379) die Verhältnisse complicirt.

II. Ist die Wärme ein adäquates Reizmittel für die Kälteendorgane?

1. Wärme — ein Reizmittel für die Kälteendorgane.

a) Das Vorhandensein verschiedener Endorgane in physiologischem Sinne für die verschiedenen Hautsinnesnerven.

Im Vorhergehenden habe ich die Frage unentschieden gelassen, ob die paradoxen Kälteempfindungen durch Reizung der Kälteendorgane selbst, oder der zu diesen führenden Nerven hervorgerufen werden.

Ehe ich an die Untersuchung dieser Frage herantrete, dürfte es angebracht sein, eine Anmerkung zu widerlegen, die gegen meinen Gebrauch der Ausdrücke „Kälteendorgane“, „Wärmeendorgane“ u. s. w. gemacht werden kann, nämlich die, dass, da es bisher nicht gelungen ist, sicher die histologischen Bildungen zu präcisiren, die die verschiedenen Sinnesempfindungen der Haut vermitteln, und da also nicht die Möglichkeit ausgeschlossen ist, dass die Kälte- oder Wärmesensationen durch freie Nervenenden vermittelt werden, die Ausdrücke Kälte- und Wärmeendorgane nicht berechtigt sind.

Hierzu mag bemerkt werden, dass, da kein Anlass vorliegt, eine ausgebildete Reizbarkeit der Nervenfasern selbst für die verschiedenen adäquaten Reize anzunehmen, man vom physiologischen Gesichtspunkte aus die Existenz solcher Vorrichtungen in den Enden der Nervenfasern oder um dieselben herum postuliren muss, die im Stande sind, den adäquaten Reiz in Nervenreiz zu transformiren. Solche Vorrichtungen können vom physiologischen Gesichtspunkte aus Endorgane benannt werden. Und in diesem Sinne gebrauche ich das Wort. So aufgefasst fordert ein Endorgan nicht unbedingt Entsprechung in einer deutlich mit dem Nerven in Verbindung stehenden und ausschliesslich diesem zugehörigen morphologischen Bildung, also ein Endorgan im histologischen Sinne.

Die Verhältnisse, die die sog. freien epithelialen Nervenenden in der Haut zeigen, dürften zur Beleuchtung dieser Behauptung dienen können. Wie v. Frey (6. S. 257) es wahrscheinlich gemacht hat, vermitteln diese Nervenenden gewisse Schmerzempfindungen. Es ist

nun nachgewiesen oder wahrscheinlich gemacht worden, dass Schmerz-sensationen mit so schwachen chemischen (Setchenow¹ 13. S. 451), mechanischen (v. Frey 6. S. 261) und thermischen (Verf. 4. S. 549) Reizen ausgelöst werden können, dass man nicht sagen kann, diese wirkten als einfache Nervenreize. Man muss also vom physiologischen Gesichtspunkte aus besondere Vorrichtungen für die Transformation des Reizes postulieren, also Endorgane im oben gebrauchten physiologischen Sinne, obgleich die hier gemeinten Nervenenden vom histologischen Gesichtspunkte aus freie (also nicht mit Endorganen versehene) genannt werden können. Vielleicht liegt eine Differenzirung ihrer Struktur vor, und in diesem Falle wäre vielleicht der Name Endorgan, auch physiologisch betrachtet, berechtigt. Wenn aber auch keine eine besondere Reizbarkeit bedingende Struktur vorhanden ist, wenn also auch die Nervenenden selbst in ihrer Reizbarkeit sich nicht von den übrigen Theilen des Nervenfadens unterscheiden, kann man, trotz des Fehlens anderer, dem Nerven ausschliesslich zugehöriger Bildungen, berechtigt sein, von Schmerzendorganen zu sprechen.

Wenn z. B. die Transformation der schwachen Reize in Nervenreiz sich, wie v. Frey (6. S. 261) annimmt, so vollzieht, dass Concentrationsänderungen in der Flüssigkeit um diese möglicher Weise nicht differenzirten Nervenenden herum durch sie bewirkt werden, und die Möglichkeit von Concentrationsänderungen solcher Stärke, dass sie als Nervenreize wirken, auf der Lage der Nervenenden in den Safräumen zwischen den Zellen der Epidermis und auf den Verhältnissen beruht, die in Folge der Anordnung und vitalen Eigenschaften derselben dort existiren, so spielen diese Zellen und diese Safräume die Rolle der Endorgane im physiologischen Sinne des Wortes, wenn vielleicht auch ihre anderen, mehr hervortretenden Aufgaben dies verbergen und sie, histologisch gesehen, auf keine Weise als Endorgane betrachtet werden können.

Unter solchen Verhältnissen muss die Anwendung, die hier von dem Ausdrucke Endorgan gemacht wird, als berechtigt angesehen werden.

b) Wärme — ein Reizmittel für die Kälteendorgane.

Was nun die Frage betrifft, ob die paradoxen Kälteempfindungen durch Reizung der Kälteendorgane oder der zu diesen führenden Nerven hervorgerufen werden, so will ich daran erinnern, dass Lehmann

¹ Die Untersuchungen dem Verfasser nur durch Rollet's Erwähnung bekannt.

(10. S. 26), der nur beiläufig die Reizbarkeit der Kältepunkte für warme Spitzen erwähnt, sich über diese Frage nicht äussert. v. Frey hat sich auch nicht darüber direct ausgesprochen. Doch rührt von ihm eine Angabe her (5. S. 172), die so gedeutet werden kann, dass der Wärmereiz die Nervenfasern, nicht die Kälteendorgane afficirt, die Angabe nämlich, dass es ihm nicht gelungen sei, den Kältepunkt, d. h. den Punkt, der bei Kältereizung als der günstigste bestimmt ist, mit warmen Spitzen direct zu reizen, sondern dass dieses von einer oder mehreren Stellen in der nächsten Umgebung desselben aus geschah. v. Frey lässt sich jedoch auf keine Discussion der Sache ein. Was Alrutz betrifft, so hält er (8. S. 335) es, wie es scheint, für wahrscheinlich, dass nur die adäquate Reizung die Endorgane afficirt, dass aber alle anderen Reize die Nerven angreifen, die Kälteendorgane also nur von der Kälte gereizt werden, während bei der Entstehung der paradoxen Kälteempfindung der Nervenfasern selbst gereizt worden ist. Die Gründe dieser seiner Ansicht giebt er nicht an.

Meine Untersuchungen haben mich zu der bestimmten Auffassung geführt, dass bei der paradoxen Kälteempfindung eine Reizung des Endorganes selbst stattfindet, dass die Wärme also ein Reizmittel für das Kälteendorgan ist. Hiermit habe ich nicht die Möglichkeit leugnen wollen, dass auch der Nervenfasern selbst angegriffen werden kann, wenn der Reiz sehr intensiv geworden ist.

Was zunächst v. Frey's Angabe betrifft, dass die mit Kältereizen aufgesuchten Kältepunkte, und die Punkte, die bei starker Wärmereizung Kälteempfindungen geben, nicht zusammenfallen, so beruht sie wahrscheinlich auf der Schwierigkeit, die verschiedenen Punkte vollständig zu punctiren. Ich selbst habe bei direct auf diesen Zweck gerichteten Versuchen nichts anderes finden können, als dass diese Punkte zusammenfallen.

Die Untersuchung wurde auf dünner Haut (Volarseite des Unterarms), die durch 2 Minuten lange Berührung mit einem 45gradigen Temperator erwärmt war, vorgenommen. Der Reiz wurde durch die fein zugespitzte Röhre zugeführt, die Alrutz bei seinen Untersuchungen gebraucht hat. (Siehe die Figur bei Alrutz 8. S. 323.) Durch die Röhre floss Wasser von 65° oder etwas wärmer.

Auf so temperirter Haut ist die Untersuchung der Kältepunkte mit Wärmereizen leichter als auf Haut von gewöhnlichem Wärmebestand. Sobald die Haut zu sehr abgekühlt ist, wird die Erwärmung wiederholt. Um dies so lange als möglich zu vermeiden, kann man die untersuchte Hautstelle nach der Erwärmung mit dem Temperator

während der Reizung der Kältepunkte der strahlenden Wärme einer in der Nähe placirten Glühlampe aussetzen.

Bei dieser Methode findet man, dass die Punkte, die auf kalte Spitzen reagirt haben, auch auf warme reagiren. v. Frey in seiner Mittheilung sagt freilich nicht, wie weit entfernt von einander die wirklichen und die paradox reagirenden Kältepunkte liegen sollten, und es ist ja möglich, dass seine Untersuchung auf eine exactere Weise als die meinige gemacht ist. Die meine ist nur mit der Genauigkeit gemacht worden, die bei unbewaffnetem Auge erreichbar ist. Ich habe es indessen nicht für nothwendig gehalten, die Untersuchung besonders minutiös anzustellen, da keine detaillirten Angaben vorliegen, und da mir eine weiter unten beschriebene Thatsache die Frage zu entscheiden scheint.

Wenn v. Frey's Angabe richtig war, wäre sie ein Beweis dafür gewesen, dass entweder besondere wärmeempfindliche Kälteorgane neben den vorher bekannten existiren, oder auch, dass die Nervenfasern und nicht die Endorgane gereizt werden. Aber da diese Angabe sich nicht bestätigt, ist hiermit der einzige positive Grund für die Annahme einer Reizung der Nervenfasern aus dem Wege geräumt. Die Frage aber steht noch immer offen, denn es lässt sich denken, dass der Nervenfasern nur unmittelbar unter dem Endorgane selbst so unbedeckt liegt, dass er dort gereizt werden kann.

Dass es jedoch das Endorgan selbst ist, das gereizt wird, wird durch die schon vorher erwähnte Thatsache (siehe S. 392) bewiesen, dass bei dienlicher Versuchsanordnung eine von jeder Schmerzempfindung freie Kältesensation bei Wärmereizung erhalten werden kann. Da nun die Schmerzfasern noch oberflächlicher als die Kältefasern endigen, und da kein Grund zu der Annahme vorliegt, dass diese letzteren eine specifische Reizbarkeit für hohe Temperaturen oder erstere eine verminderte solche besitzen, so sollte ein auf die Hautfläche applicirter Reiz, der ja immer kräftiger auf die oberflächlicheren Schichten wirkt, auch und in noch höherem Grade die Schmerzfasern gereizt haben, wenn er überhaupt als allgemeines Reizmittel wirkt. Da aber die dadurch hervorgerufene Kältesensation durchaus von Schmerz frei ist, muss man daraus schliessen, dass nicht der Nerv, sondern das Kälteendorgan gereizt ist.

In einer früheren Arbeit (4. S. 549) ist hervorgehoben worden, dass Schmerz durch so schwache Wärme hervorgerufen werden kann, dass sie nicht als allgemein wirkendes Nervenreizmittel angesehen werden kann. Da aber nun die Temperaturen, die die fragliche Kälteempfindung hervorgerufen haben, gar keinen Schmerz erregen, da ist a

fortiori bewiesen, dass die kälteerregenden Wärmereize nicht als allgemeine Nervenreize wirken können, dass sie also auf das Kälteendorgan wirken müssen.

Eine weitere Stütze hierfür liefert das Studium der niedrigsten Grenze der Temperaturen, die durch Temperatursteigerung die Kältenervenenden zu reizen vermögen.

c) Die Grenzen für die Reizbarkeit der Kältenervenenden bei hohen Temperaturen.

Ich habe im Vorhergehenden nicht näher die hohen Temperaturen präcisirt, für welche die Kältenervenenden reizbar sind. Was deren untere Grenze betrifft, so liegt eine Angabe von v. Frey vor (5. S. 172), welche besagt, dass die paradoxe Kälteempfindung bei punktförmiger Reizung auf gewöhnlicher Haut bei wenigstens 45° entsteht, ausnahmsweise schon bei 40° , und eine Angabe von Alrutz (12. S. 302),¹ dass die Empfindung „heiss“, worunter er ja ausschliesslich die Empfindung versteht, welche bei gleichzeitiger Reizung der Kälte- und Wärmenervenenden entsteht, bei 40° anfängt.

Was v. Frey's Werth betrifft, so darf hier bemerkt werden, dass dieser Werth sich nur auf die für die paradoxe Reizung empfindlichsten Kältepunkte bezieht — er beobachtete ja diese Reizbarkeit nur bei einigen Kältepunkten. — Bei meinen eigenen Untersuchungen, die jedoch nur eine kleine Anzahl von Kältepunkten umfassen, waren höhere Temperaturen — 50° und darüber — nöthig.

Hieraus folgt durchaus nicht, dass die Reizschwelle für Wärme so hoch liegt. Ueberhaupt muss nämlich eine Bestimmung der Reizschwelle, wenigstens mit feineren Spitzen, zu hohe Werthe liefern zufolge der bedeutenden Verminderung des Wärmeeffectes in der Tiefe durch die nach allen Seiten hin in der Haut sich vollziehende Wärmeausgleichung.

Die Ursache für die Verschiedenheit der Ergebnisse v. Frey's und der meinigen kenne ich nicht; ich finde es indessen nicht unwahrscheinlich, dass die Dünnhcit der Spitzen, wie auch der Wärmebestand und die Beschaffenheit der Haut eine bedeutende Rolle spielen und grosse Differenzen der Resultate bedingen können.

Was Alrutz' Angabe betrifft, dass die Empfindung, welcher er den Namen „heiss“ beilegt, bei 40° anfängt, so gilt hierfür, was in anderem Zusammenhang (siehe S. 418) bemerkt worden ist, dass nämlich diese Bestimmung recht schwer und unsicher ist.

¹ Die Hinweisung bezieht sich auf die deutsche Uebersetzung.

Unter solchen Umständen ist es von gewissem Werth, die niedrigste Temperatur zu bestimmen, durch welche eine isolirt auftretende paradoxe Kälteempfindung bei Flächenreizung hervorgerufen wird.

Die Methode, die ich dabei angewendet habe, gründet sich auf eine früher (S. 419) mitgetheilte Beobachtung, dass nach anhaltender Berührung mit einem 45gradigen Temperator bei einem Reize von 47 bis 48° zuerst eine deutliche Kältesensation und erst nacher eine Wärmeempfindung erhalten wird.

Ich habe nun untersucht, inwiefern schon bei niedrigeren Temperaturen die isolirt auftretende Kältesensation erhalten werden kann, und ich habe gefunden, dass auf einer mit einem 42gradigen Temperator zwei Minuten lang erwärmten Hautstelle schon ein 44- bis 45gradiger Temperator eine wenn auch sehr schwache Kältesensation liefert. Es ist möglich, dass man bei Anwendung grösserer Flächen als der von mir zur Temperirung und Reizung der Haut benützten (22 bezw. 16^{qcm}) noch niedrigere Werthe erhalten kann.

Indessen ist die Frage nach den Temperaturen, durch welche die Kältenervenenden durch Wärmesteigerung gereizt werden, insofern unvollständig formulirt, als sie keine Rücksicht nimmt auf die Intensität der Temperaturveränderung oder auf den Wärmegrad der Kältenervenenden. Die Bedeutung dieser Momente geht aus Folgendem hervor.

Bei Untersuchung der Erscheinungen bei Wärmereizung auf abgekühlter Haut zeigte sich, wie oben S. 418 erwähnt ist, dass eine mit einem 10gradigen Temperator behandelte Hautstelle bei Reizung mit einer solchen von 45° zuerst eine deutliche Wärmeempfindung giebt, wonach eine Kältesensation so deutlich anschwillt, dass sie fast als isolirt betrachtet werden kann. Solch eine Kältesensation kann nun wenigstens nach einiger Uebung bei Application von Temperaturen schon unter 45° wahrgenommen werden.

Um dies zu constatiren, muss der Versuch auf dünner Haut ausgeführt werden (meine Untersuchungsstelle war die Volarseite des linken Unterarms) und unter Anwendung möglichst grossflächiger Wärmereizmittel. (Der Temperator, den ich meistens zur Abkühlung der Haut gebrauchte, besass eine Berührungsfläche von etwa 22^{qcm}; derjenige, durch den der Reiz zugeführt wurde, eine solche von 16^{qcm}.) Durch geeigneten Schutz werden alle Temperatursensationen von der umliegenden Haut her vermieden. Die Abkühlung mit dem 10gradigen Temperator wird zwischen 10 Secunden und 1 Minute variirt. Bei dieser Anordnung erhielt ich schon mit einem 35gradigen Reize eine, wenn auch sehr schwache, paradoxe Kältesensation, ja, ich meinte

schon bei 32° eine Andeutung davon zu spüren, die jedoch so unbedeutend war, dass ich dessen nicht sicher bin.

Da nun auf normal temperirter Haut ein 35gradiger Wärmereiz höchstens eine Wärmeempfindung ohne die geringste Spur von heissem Charakter, geschweige denn von einer Kältesensation hervorruft, da also keine Reizung der Kältenervenenden dabei stattgefunden hat, so geht daraus hervor, dass unter eben genannten Bedingungen Kältesensationen bei Reizung mit niedrigerer Temperatur als gewöhnlich entstehen können. Die Ursache hierfür dürfte in der intensiveren Temperaturveränderung bei Versuchen auf abgekühlter Haut liegen. Indessen ist die Reizbarkeit der Kältenervenenden bedeutend grösser bei den höheren Temperaturen, als bei niedrigeren. Die zur Hervorrufung der paradoxen Kältesensation erforderliche Wärmesteigerung braucht nicht so gross auf normal temperirter oder erwärmter Haut zu sein, als auf abgekühlter. Während eine Reizung der Kältenervenenden auf 10gradiger Haut erst bei einer Temperatursteigerung bis über 30° wahrgenommen werden kann, treten auf 45gradiger Haut deutliche paradoxe Kältesensationen schon bei einer Temperatursteigerung von ein paar Graden auf.

Aus dieser Beobachtung, dass schon ein 35gradiger Gegenstand eine paradoxe Kältesensation hervorrufen kann, ergibt sich auch, dass eine und dieselbe Temperatur das Kälteendorgan bei der einen Gelegenheit durch Abkühlung, bei der anderen durch Erwärmung reizen kann. In einer früheren Arbeit (7. S. 555) ist mitgetheilt worden, dass man eine Kälteempfindung durch Abkühlung mit einer Temperatur von etwa 39° auf Haut, welche vorher mit etwa 45gradigem Wasser erwärmt worden ist, erhalten kann. 39° ruft also hierbei eine Kälteempfindung durch Ableitung hervor. Auf vorher mit einem 10gradigen Temperator abgekühlten Haut kann man mittels eines Temperators von 35° und mehr eine Kältesensation erhalten. Die Wärmegrade zwischen 35 und 39° können also nach diesen Beobachtungen die Kälteendorgane entweder durch Abkühlung, oder durch Erwärmung reizen. Was die oberere Grenze der Reizbarkeit der Kältenervenenden gegenüber hohen Temperaturen betrifft, so kann man, wenn man dabei nur die Temperatur der Nervenenden berücksichtigt, a priori sagen, dass sie nicht besonders hoch liegt, weil die Nervensubstanz ja schon bei recht niedriger Temperatur (etwa 50°) abstirbt. Ob die Kältenervenenden schon bei niedrigerer Temperatur als derjenigen, bei welcher sie ihre Vitalität verlieren, ihre Reizbarkeit für Temperatursteigerung verlieren, darüber habe ich nichts mitzutheilen.

Fragt man dagegen nach der höchsten Temperatur des äusseren Reizes, womit eine paradoxe Kältereizung bewirkt werden kann, so wird sich wahrscheinlich keine obere Grenze finden. Denn ganz sicher kann man, wenn keine praktischen Schwierigkeiten entgegneten, durch Abpassung der Maasse und der Berührungszeit, mit jeder Temperatur, wie hoch sie auch sei, die Steigerung hervorrufen, durch welche die Kältenervenenden gereizt werden.

*
*
*

Die weit unten auf der Temperaturskala liegende Grenze für die Entstehung der paradoxen Kältesensationen giebt einen neuen Beweis dafür ab, dass das Endorgan, und nicht der undifferenzierte Nerven-faden gereizt wird, was nach dem oben Gesagten keiner weiteren Motivirung bedarf.

2. Ist Wärme ein adäquates Reizmittel für die Kälteendorgane?

a) Ueber den Begriff des „adäquaten Reizes“. Das Verhältniss der Endorgane zu der adäquaten und inadäquaten Reizung.

Die oben in Beweis geleitete Reizbarkeit der Kälteendorgane für hohe Temperaturen schien mir ein besonderes Interesse zu haben, da sie auf die Möglichkeit hinweist, dass neben den bisher anerkannten Kältereizen auch Wärmereize von gewisser Stärke vielleicht als adäquate Reize für die Kälteendorgane angesehen werden müssen.

Um diese Frage zu entscheiden, dürfte es angemessen sein zu präcisiren, was unter dem Ausdruck „adäquater Reiz“ verstanden wird.

Die gewöhnliche Auffassung dieses Ausdruckes dürfte wohl so formulirt werden können, dass unter dem adäquaten Reiz für einen gewissen Nerven der Reiz verstanden wird, welchem seine Endorgane angepasst sind. Gegen den Gebrauch des Wortes „angepasst“ in dieser Definition kann ohne Zweifel eingewendet werden (siehe Liljeqvist 17. S. 122 ff.), dass dadurch teleologische oder kausalgnetische Gesichtspunkte eingeführt werden. Aber da diese Gesichtspunkte nicht als unberechtigt angesehen werden können, und da man ihnen übrigens keine andere Bedeutung als die einer Hülfs-hypothese beizulegen braucht, und da es schwierig ist, eine einfache Definition aus anderen Gesichtspunkten aufzustellen, so kann sie, scheint es mir, bis auf Weiteres Dienst thun. Dagegen scheint es mir gar nicht dienlich zu sein, dem Ausdruck „adäquater Reiz“ eine solche Bedeutung zu geben, dass alle Reize, welche überhaupt reizend auf einen gewissen Nerven wirken,

adäquate Reize für denselben, wenngleich in verschiedenem Grade, je nach ihrer Wirksamkeit (Liljeqvist 17. S. 126) genannt werden sollten.

Eine solche Auffassung weicht, so viel ich gefunden, sehr von der in der Physiologie gewöhnlichen ab.

Nach derselben müsste z. B. Druck als adäquater Reiz für die Kälte- und Wärmenervenenden deshalb angesehen werden, weil die Kälte- und Wärmepunkte nach dem, was Goldscheider (2. S. 118) gefunden und mehrere Forscher nachher bestätigt haben, durch Druck gereizt werden können. Und man müsste gewisse, in der Natur nicht primär vorkommende Irritanten, z. B. Inductionsschläge als adäquate Reize für alle Sinnesnerven ansehen.

Der Begriff adäquat ist indessen bisher gebraucht worden, um den nahen Zusammenhang auszudrücken, welcher faktisch zwischen jedem einzelnen Sinnesnerv und einem bestimmten, in der Natur primär vorkommenden und unter normalen Verhältnissen den Nerv treffenden Reiz besteht. Wollte man auf oben genannte Weise die Bedeutung des Begriffes adäquat erweitern, so hätte man keinen speciellen Ausdruck mehr für diesen Zusammenhang. Unter diesen Verhältnissen scheint mir eine solche Erweiterung des Begriffes weder nöthig, noch nützlich zu sein. Sie würde meines Erachtens im Gegentheil eine gewisse Verdrehung des Begriffes bedeuten.

Für einige Sinnesorgane geht schon aus ihrem Bau deutlich hervor, dass sie gewissen Reizen angepasst sind. Der Bau des Auges zeigt z. B. eine deutliche Anpassung an Lichtstrahlen. Bei anderen Endorganen ist eine solche Anpassung nicht so deutlich, was wahrscheinlich darauf beruht, dass wir den Bau der Endorgane nicht im Detail kennen oder erklären können, nicht aber darauf, dass eine solche Anpassung nicht existirt.

Wie soll man da entscheiden können, ob die Kälteendorgane Wärmereizen angepasst sind?

Eine nothwendige Voraussetzung für die Möglichkeit einer solchen Anpassung ist die Reizbarkeit dieser Endorgane für Wärme, aber die Natur der Wärme als adäquater Reiz ist damit nicht bewiesen.

Gewisse Forscher haben wohl die Ansicht ausgesprochen, dass die Endorgane nur für ihren adäquaten Reiz reizbar sind. Wäre diese Ansicht sicher begründet, so hätte man Recht, aus der Erfahrung, dass die Kälteendorgane durch Wärme gereizt werden, auf ihre Natur als adäquaten Reiz zu schliessen. Die Gründe aber, die man für diese Ansicht von der ausschliesslichen Reizbarkeit der Endorgane für ihren adäquaten Reiz angeführt hat, sind nicht genügend. Man findet

nämlich fast nur auf theoretische Gründe gebaute Annahmen und keine directen Versuche, die Sache zu erforschen. Ich beschäftige mich im Folgenden nur mit den Aussprüchen, die sich auf Untersuchungen über die Physiologie der Hautsinne beziehen.

Goldscheider (2. S. 130) macht z. B. bei seiner Erwähnung der Reizbarkeit der Kälte- und Wärmepunkte gegenüber elektrischen und mechanischen Reizen folgende Bemerkung:

„Die Irritabilität der Nervenfasern und der Endapparate hat einen gegensätzlichen Charakter: erstere ist durch die verschiedensten Reize erregbar, letztere sind nur auf einen bestimmten Reiz eingerichtet. Es ist mir nach dieser Auffassung unvorstellbar, dass die mechanische und elektrische Reizung vermittelt der Endorgane auf die Temperaturnerven wirken sollte.“

Einen Beweis aber hierfür giebt er nicht. Goldscheider schliesst sich Rollet (13. S. 447) an, welcher diese Ansicht auch für andere Sinne geltend macht, wie Goldscheider, ohne einen bindenden Beweis zu liefern. Auch Alrutz (8. S. 355) hat sich, wie oben bemerkt, in ähnlicher Richtung ausgesprochen.

Es muss zugegeben werden, dass diese Ansicht von der ausschliesslichen Reizbarkeit der Endorgane durch ihren adäquaten Reiz im ersten Augenblicke sehr plausibel erscheint, da ja die Aufgabe der Endorgane es ist, den zugehörigen Nerv gewissen Reizen auszusetzen, ihn aber gegen andere Arten Reize zu schützen, eine Aufgabe, welche im engsten Zusammenhang mit der Bedeutung der Empfindungen für die Erkenntniss der Aussenwelt steht. Bei näherer Prüfung geht diese Ansicht jedoch, scheint es, ein wenig zu weit.

Diese Bedeutung, die unsere Empfindungen besitzen — da unsere Lichtempfindungen vor Allem durch objectives Licht, unsere Geruchsempfindungen durch das Vorhandensein gewisser flüchtiger Stoffe in der Luft hervorgerufen werden u. s. w., so können wir mit der grössten Wahrscheinlichkeit aus dem Auftreten dieser Empfindungen auf das Vorhandensein objectiven Lichtes bzw. jener riechenden Stoffe schliessen — diese Bedeutung gründet sich darauf, dass unter physiologischen Verhältnissen der Sinnesnerven — dieser Begriff als Zusammenfassung von Nervenfasern und Endorgan genommen — vor Allem von dem adäquaten Reiz gereizt wird, setzt aber nicht voraus, dass er für inadäquate Reize überhaupt nicht reizbar sei.

Denn dass der Erkenntnisswerth der Empfindungen dadurch nicht vernichtet wird, dass der Sinnesnerv bisweilen auch von inadäquaten Reizen gereizt wird, dieses wird z. B. durch die Lichtempfindungen

bei Druck gegen das Auge und durch die Temperaturempfindungen bei Druckreizung der Kälte- und Wärmepunkte bewiesen.

Und zufolge der Art, in der der Nervenreizvorgang projecirt wird, kann die Frage, ob das Endorgan oder der Nervenfaden gereizt wird, hier keine Rolle spielen.

Ja, man hat nicht einmal das Recht, aus der Thatsache, dass ein Sinnesnerv vor Allem von seinem adäquaten Reiz gereizt wird, den Schluss zu ziehen, dass das Endorgan für diesen Reiz mehr reizbar ist, als für andere Reize. Denn auch andere Faktoren als die Reizbarkeit können dabei mitspielen. Die Endorgane können z. B. eine besonders geschützte Lage haben, so dass nur gewisse Reize zu denselben den Weg finden können, andere dagegen nicht. Für die Stäbchen und Zapfen des Auges, für das Geruchsepithel, für die schallempfindlichen Apparate des Ohres muss diese Möglichkeit beachtet werden. Oder der Umstand kann mitspielen, dass gewisse, vielleicht sehr wirksame Reize im Leben des Organismus nicht primär vorkommen.

Auch wenn die elektrischen Reize sehr activ gegenüber verschiedenen Endorganen wären, so würde dieser Umstand durchaus nicht die Thatsache beeinträchtigen, dass diese Endorgane unter den natürlichen Lebensbedingungen des Individuums, vor Allem von dem adäquaten Reiz gereizt werden. Mittels theoretischer Speculation und auf die Bedeutung der Empfindungen für die Erkenntniss der Aussenwelt sich stützend, kann man also nicht die Möglichkeit ausschliessen, dass die Endorgane auch für inadäquate Reize reizbar sind. In gewissen Fällen ist auch eine solche Reizbarkeit sehr wahrscheinlich. Was z. B. die Stäbchen und Zapfen des Auges betrifft, so scheinen sie auch für mechanische Reize reizbar zu sein. Das Druckphosphen entsteht bei so schwachem Druck auf den Augapfel, dass er kaum auf die Nervenfasern als allgemeiner Reiz wirken kann; und die runde Form des Druckphosphens beim Appliciren einer runden Spitze gegen den Augapfel scheint darauf hinzuweisen, dass es die Stäbchen und Zapfen und nicht die Nervenfasern sind, welche gereizt werden, in welchem letzteren Falle das Phosphen als durch Reizung der einen gewissen Punkt passirenden Nerven verursacht wegen der Art, auf welche Gesichtsreize hinausprojecirt werden, eine mehr langgestreckte Form zeigen sollte.

Für die Endapparate der Geschmacksnerven scheint Oehrwall (18. S. 83) nachgewiesen zu haben, dass sie durch elektrische Ströme gereizt werden.

Man kann also a priori nicht die Möglichkeit ausschliessen, dass

die Endorgane selbst für andere Reize als den adäquaten reizbar sind, sondern man muss in jedem speciellen Falle durch directe Versuche die Sache entscheiden. Und man kann also nicht aus einer bei bestimmten Endorganen nachgewiesenen Reizbarkeit für eine bestimmte Art von Reizen bedingungslos darauf schliessen, dass dieser Reiz der adäquate ist. Da dies der Fall ist, und da wir aus dem Bau des Kälteendorgans nicht entscheiden können, ob dies Wärmereizen angepasst ist oder nicht, wie soll man da die Frage bestimmen?

Es scheint mir hierbei förderlich zu sein, wenn man die Weise untersucht, auf welche wir die Empfindungen deuten, welche bei Reizung der Kälteendorgane mit Wärme entstehen.

Denn als ein wenigstens in vielen Fällen verwendbares Kriterium für die Natur des Reizes dürfte man den Umstand benutzen können, ob die durch einen Sinnesnerv bewirkten Empfindungen auf den fraglichen Reiz bezogen werden oder nicht, ob also die durch die Reize verursachten Empfindungen irre führen oder nicht.

Lichtstrahlen müssen als ein adäquater Reiz für das Auge angesehen werden, weil jede Reizung des Gesichtsnerven von uns als Licht aufgefasst wird; Elektrizität und Druck müssen als inadäquate Reize aufgefasst werden, weil auch die von ihnen erzeugten Empfindungen von uns auf objectives Licht bezogen werden und nicht auf Elektrizität und Druck, und daher primär irreführend wirken, wenn wir auch durch secundäre Schlussfolgerungen dieses vermeiden können.

b) Unsere Auffassung der durch Wärmereizung der Kälteendorgane entstehenden Sensationen. Schlüsse.

Die durch Wärmereizung bewirkte Reizung der Kälteendorgane entsteht, die Ausnahme abgerechnet, gleichzeitig mit einer starken Wärmeempfindung. Und ein Gegenstand, der auf diese Weise eine gleichzeitige und an derselben Stelle localisirte Reizung der Kälte- und Wärmeendorgane hervorruft, wird als „warm“ aufgefasst, trotzdem man wenigstens nach einiger Uebung den Kältecomponenten in der zusammengesetzten Sensation wahrnehmen kann, wenn er nur einigermaassen beträchtlich ist.

In der als starke Wärme aufgefassten Empfindung, welche von einem auf normal temperirter Haut (33 bis 35°) placirten 50 bis 60 gradigen Temperator erregt wird, kann ich also eine Kältsensation wahrnehmen; an einigen Stellen (Falte des Ellenbogens, Oberarm oberhalb des Biceps) ist sie schon bei 48° merkbar.

Es wäre nun möglich, dass der Umstand, dass die Reizung der Kältenerven nicht falsch gedeutet wird, nur auf der kräftigen, gleichzeitigen Wärmeempfindung beruht, welche die Kälteempfindung über-täubt.

Diese Einwendung ist insofern richtig, als die Ursache der paradoxen Kältenervenreizung ohne die Wärmeempfindung als Kälte gedeutet wird. Es scheint aber doch, als ob die Reizung der Kältenerven eine besondere Rolle spielte.

Das geht aus einigen Untersuchungen hervor, die in einer früheren Arbeit mitgetheilt sind (19. S. 492). Wenn man durch zweckmässige Anordnung das Auftreten einer Reizung der Kältenerven (durch Kältereize) so abpasst, dass es gleichzeitig mit einem an derselben Stelle localisirten recht starken Wärmegefühl geschieht, so hat man das Gefühl, als ob die Temperatur steige, und dies, obschon man die Kälteempfindung in der eigenthümlich heissen Sensation unterscheiden kann. Die ein wenig complicirte Methode, mit welcher ich zuerst diesen Versuch unternahm, kann gut durch die einfachere ersetzt werden, dass man einen ziemlich starken Wärmereiz auf eine grössere Hautfläche einwirken lässt und, während dies geschieht, einen begrenzten Theil derselben Hautfläche der Einwirkung starker Kälte aussetzt. Man lässt z. B. 45gradiges Wasser längs eines Fingers herablaufen und setzt dann, während dies geschieht, die Spitze des Fingers einem Strahle von 10gradigem Wasser aus. Man bekommt da an der Fingerspitze ein Gefühl von Temperatursteigerung, von starker Hitze.

Es scheint also aus diesen Erscheinungen hervorzugehen, dass die gleichzeitige Reizung der Kältenerven nicht so wirkt, dass wir einen starken Wärmereiz als auf einer niedrigeren Temperatur beruhend auffassen, als wenn es bei der Wärmeempfindung allein geschehen wäre, sondern umgekehrt.

Gleichartig mit dieser scheint mir eine andere, von Goldscheider (2. S. 273) lange vorher gemachte Wahrnehmung zu sein, die er bei Application von Menthol machte.

Dieser Stoff erregt ja normal auf der Haut eine ausgeprägte Kältesensation durch Reizung der Kältenervenenden (Rollet's Einwendungen [13. S. 460] hingegen dürfte meines Erachtens kaum stichhaltig sein). Indessen werden auch die Wärmenervenenden gereizt. Goldscheider sagt nun, dass, wenn Menthol auf eine Hautstelle mit überwiegendem Wärmesinn und schwachem Kältesinn einwirkt, man eine besonders deutliche Empfindung „heiss“ erhält, in der man bisweilen gar keine Kältesensation unterscheiden kann.

Wenn auch vielleicht Goldscheider's Erklärung nicht in dieser

Richtung geht, liegt hier doch nach meiner Auffassung wahrscheinlich eine durch gleichzeitige Reizung der Kälte- und Wärmenervenenden hervorgerufene Empfindung vor, die als auf starker Wärme beruhend erklärt wird.

Von Interesse ist weiter, was Alrutz (12. S. 355) gezeigt, dass nämlich diese Reizbarkeit der Kältenerven für hohe Temperaturen uns eine richtigere Kenntniss dieser Temperaturen verschaffen kann, als die Wärmenerven allein es thun könnten, eine Ansicht, die theils sich auf den Qualitätsunterschied, der durch die hinzutretende Reizung der Kältenerven bedingt wird, und theils auf die Annahme stützt, dass das Minimum stimulans maximae perceptionis für die Wärmenerven von einem recht niedrigen Wärmegrad repräsentirt wird — eine Annahme, die bis zu einem gewissen Grade durch einige oben angeführte Ermüdungsversuche (siehe S. 397) gestützt wird.

Wäre man berechtigt, vollständig auf das oben angeführte Kriterium für den adäquaten Reiz sich zu verlassen — dass die durch ihn verursachten Empfindungen irre nicht führen —, so würde man offenbar berechtigt sein, zu folgern, dass für die Kälteendorgane ein solcher Reiz auch in gewissen hohen Temperaturen besteht. Auf diesen Schluss könnte nicht der Umstand einwirken, dass unter gewissen künstlichen Bedingungen, wo die Kältesensation mehr oder weniger isolirt auftritt, diese Reizbarkeit der Kälteendorgane gegen hohe Temperaturen zu dem Missverständniss führen kann, dass ein sehr warmer Gegenstand als kalt angesehen wird. Dies geschieht ja im Allgemeinen kaum unter anderen als künstlichen Laboratoriumsverhältnissen oder damit vergleichbaren Bedingungen. Und bei jeder Beurtheilung der Sinnesorgane muss man sich daran erinnern, dass diese Organe, um ihre Aufgaben zu erfüllen, nach normalen Verhältnissen und nicht nach seltenen Ausnahmefällen abgepasst sind.

Das eben erwähnte Kriterium aber ist nicht entscheidend. Besonders der Umstand, dass es einer gleichzeitigen Wärmeempfindung bedarf, damit die paradoxe Kältenervenreizung auf eine hohe Temperatur bezogen werde, ein Umstand, der kein Gegenstück bei den anderen Sinnen hat, macht, dass man gegenüber der Brauchbarkeit des Kriteriums im vorliegenden Falle sich zweifelhaft stellen muss.

Trotz der Reizbarkeit der Kälteendorgane für Wärme, und obgleich diese Reizbarkeit keinen Anlass zur Missdeutung giebt, sondern sogar zu einer richtigeren Auffassung der äusseren Verhältnisse beitragen kann, wage ich daher doch nicht, den Schluss zu ziehen, dass die Wärme ein adäquater Reiz für die Kälteendorgane sei.

Die Möglichkeit bleibt also, dass die Reizbarkeit der Kälteend-

organe für Wärme eine Nebenerscheinung ohne eigentliche Bedeutung ist. Auch wenn dem so wäre, auch wenn diese Reizbarkeit kein Ausdruck für die Anpassung der Organismen an die Lebensbedingungen ist, so kann man ja — aus der empirischen Auffassung der Deutung der Sinnesempfindungen — unsere richtige Deutung der Sensationen, die durch paradoxe Reizung der Kälteendorgane entstehen, erklären. Weil diese Reizung von der ersten Entwicklung des Individuums an immer gleichzeitig mit einer starken Wärmeempfindung aufgetreten ist, durch die unsere Auffassung geleitet und bestimmt wird, so deuten wir auch ihre Ursache als starke Wärme.

Wenn es gilt, zwischen diesen beiden Alternativen zu wählen — Wärme — ein adäquater Reiz der Kälteendorgane oder nicht —, stösst man auf eine Reihe von Fragen, die zuerst beantwortet werden müssen. Welche Wärmegrade haben eine bemerkenswerthe Rolle während der Entwicklung der Thierserie gespielt? Wie weit herunter in der Thierserie erstreckt sich die Fähigkeit zu Kälte- und Wärmesensationen? Haben sich vielleicht die Kälte- und die Wärmeendorgane aus einer einzigen Art von Endorganen, die sowohl von Wärme als von Kälte gereizt werden, differenzirt, und ist vielleicht die Differenzirung der Kälteendorgane unvollständig gewesen, so dass sie eine gewisse Reizbarkeit für Temperatursteigerung noch weiter beibehalten hat?

Ehe diese und vielleicht noch eine Reihe von anderen Fragen beantwortet sind, wird kaum eine Lösung der hier aufgeworfenen Frage zu gewinnen sein: Ist Wärme ein adäquates Reizmittel für die Kälteendorgane?

Litteratur.

1. Blix, Experimentela bidrag till lösning af frågan om hudnervernas specifika energi. *Upsala läkaref. förh.* Bd. XVIII. 1882 bis 83. S. 87 bis 102 und 427 bis 440.
2. Goldscheider, *Gesammelte Abhandlungen*. Bd. I. Leipzig 1898.
3. Tanzi, Riv. di fren. XVI. Cit. nach Dessoir: Ueber den Hautsinn. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* Physiol. Abth. 1892. S. 317.
4. Thunberg, Bidrag till kännedomen om hudens sinnesfunktioner. I. Den dubbla eller upprepade smärtsensationen. *Upsala läkaref. förh.* Bd. III. (Ny följd) 1897 bis 98. S. 513 bis 555.
5. v. Frey, Beiträge zur Sinnesphysiologie der Haut. III. Mittheilung. S. 166 bis 184. *Bericht d. Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. zu Leipzig.* Sitzung. v. März 1895.

6. v. Frey, *Untersuchungen über die Sinnesfunctionen der menschlichen Haut*. Erste Abhandlung: *Druckempfindung u. Schmerz*. Leipzig 1896.
7. Thunberg, Bidrag till kännedomen om hudsinnenas fysiologi. *Upsala läkaref. förh.* Bd. XXX. 1894 bis 95. S. 521 bis 557.
8. Alrutz, Studien auf dem Gebiete der Temperatursinne. I. *Dies Arch.* Bd. VII. 1897. S. 321 bis 339.
9. Strümpell, *Lehrb. d. spec. Path. u. Ther.* Bd. III. Leipzig 1895.
10. Lehmann, *Hovedlovene for det menneskelige Følelseliv*. København 1892.
11. Kiesow, Zur Psychophysiologie der Mundhöhle. *Wundt's Phil. Stud.* Bd. XIV. 1898. S. 567 bis 588.
12. Alrutz, Om förmimelsen hett. *Upsala läkaref. förh.* Bd. II. (Ny följd). 1896 bis 97. S. 340 bis 359. (Auch in *dies. Archiv.* Bd. X. 1900. S. 301 bis 313).
13. Rollett, Beiträge zur Physiologie des Geruchs, des Geschmacks, der Hautsinne und der Sinne im Allgemeinen. *Pflüger's Archiv.* B. LXXIV. 1899. S. 383 bis 465.
14. Boeri u. di Silvestro, Sur le mode de se comporter des différentes sensibilités sous l'action de divers agents. *Arch. Italiennes de Biol.* T. XXXI. 1899. S. 460 bis 464.
15. v. Vintschgau u. Steinach, Zeitmessende Versuche über den Temperatur- und Drucksinn. *Pflüger's Archiv.* Bd. XLIII. 1888. S. 152 bis 194.
16. Helmholtz, *Die Lehre von den Tonempfindungen*. 4. Aufl. Braunschweig 1877.
17. Liljeqvist, Om specifika sinnesenergier, studier till psykofysikens teori och historia. I. *Prolegomena*. Göteborg 1899.
18. Öhrvall, *Studier och undersökningar öfver smaksinnet*. Upsala 1899. Auch in *dies. Archiv* Bd. II. 1891. S. 21.
19. Thunberg, Förmimelserna vid till samma ställe lokaliserad, samtidigt pågående köld- och värmeretning. *Upsala läkaref. förh.* Bd. I. (Ny följd) 1895 bis 96. S. 489 bis 495.



SKANDINAVISCHES ARCHIV FÜR PHYSIOLOGIE.

UNTER MITWIRKUNG VON

PROF. DR. S. TORUP IN CHRISTIANIA, PROF. DR. K. G. HÄLLSTÉN, PROF. DR. E. A. HOMÉN
UND PROF. DR. E. E. SUNDVIK IN HELSINGFORS, PROF. DR. CHR. BOHR IN KOPENHAGEN, PROF.
DR. M. BLIX IN LUND, PROF. DR. J. E. JOHANSSON, PROF. DR. S. JOLIN, PROF. DR. K. A. H. MÖRNER
UND PROF. DR. C. G. SANTESSON IN STOCKHOLM, PROF. DR. O. HAMMARSTEN UND
PROF. DR. HJ. ÖHRWALL IN UPMALA

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. ROBERT TIGERSTEDT,

O. Ö. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT HELSINGFORS.

ZWÖLFTER BAND.

MIT ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN IM TEXT UND ZEHN TAFELN.



LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.

1902.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Inhalt.

	Seite
G. F. GÖTHLIN, Ueber die chemischen Bedingungen für die Activität des überlebenden Froschherzens	1
MAGNUS BLIX, Studien über Muskelwärme. (Hierzu Taf. I—III.) . . .	52
K. HÄLLSTÉN, Analyse von Muskelcurven	129
S. STUPIN, Beiträge zur Kenntniss der Ermüdung beim Menschen. (Hierzu Taf. IV.)	149
GÖSTA FORSELL, Ueber die Bewegungen im Handgelenke des Menschen. Eine röntgographische Studie. (Hierzu Taf. V—VII.)	168
C. G. SANTESSON, Einige Versuche über die Wirkung des Coffeins auf das Herz des Kaninchens, sowie ein Vergleich zwischen der Coffein- und der Digitalinwirkung. (Hierzu Taf. VIII u. IX.)	259
GUSTAV NEANDER, Ueber die respiratorische Pause nach tiefen Inspirationen. (Hierzu Taf. X.)	298
KARL PETRÉN, Untersuchungen über den Einfluss des Tetanus auf die absolute Festigkeit des Muskels.	328
K. HÄLLSTÉN, Analyse von Muskelcurven	341
TORSTEN THUNBERG, Untersuchungen über die bei einer einzelnen momentanen Hautreizung auftretenden zwei stechenden Empfindungen . .	394



Ueber die chemischen Bedingungen für die Activität des überlebenden Froschherzens.¹

Von

G. F. Göthlin.

(Aus dem physiologischen Laboratorium in Upsala.)

Bei dem Studium der chemischen Voraussetzungen für die normale Function des Muskelgewebes hat man in dem überlebenden Herzen ein werthvolles Versuchsobject. Im Gegensatz zu den Skelettmuskeln kann der Herzmuskel zufolge des eigenthümlichen Baues des Organes mit Leichtigkeit dem gleichzeitigen Einfluss einer umgebenden Gas-mischung und einer in dessen Cavitäten eingeschlossenen, durch die eigene Arbeit des Herzens erneuerten Flüssigkeit unterworfen werden. Die Wirkung verschiedener chemischer Faktoren, so weit sie sich in functionellen Veränderungen äussert, lässt sich erkennen bei Beobachtung der Volumsveränderungen bei den Räumen, welche das Herz mit seinen Wänden umschliesst.

I. Historischer Ueberblick.²

Die ersten experimentellen Studien über die Bedingungen für die Herzarbeit datiren aus den 1870er Jahren. Zu dieser Zeit war das überlebende Herz kaltblütiger Thiere (Frosch, Schildkröte) das einzige, welches man für eine methodische Untersuchung zu verwenden verstand, während es nunmehr auch gelingt, das Säugethierherz im überlebenden Zustande zu erhalten und die Bedingungen für dessen Thätigkeit zu prüfen. Die bis jetzt wichtigsten Resultate sind beim Studium der erstgenannten Art von Versuchsobjecten erhalten worden und dürften einen kurzen Ueberblick verdienen, umsomehr, als sie zu mehreren

¹ Der Redaction am 20. März 1901 zugegangen.

² Der Grund dafür, dass einige neuerdings über denselben Gegenstand erschienenen Arbeiten nicht berücksichtigt worden sind, ist der, dass dieser Aufsatz schon im Jahre 1899 in schwedischer Sprache veröffentlicht wurde (*Upsala Läkareförenings Förhandlingar* [1899]. Ny följd. Bd. IV. S. 519 bis 571).

abweichenden und zum Theil einander widersprechenden Ansichten Veranlassung gegeben haben.

Grundlegend für die Kenntniss von dem specifischen Einfluss des Herzmuskels auf den Arbeitsverlauf war Bowditch's¹ Entdeckung, dass die Grösse der Zusammenziehung des Herzmuskels unter sonst gleichartigen Verhältnissen von der Stärke der Reizung unabhängig ist, wenn nur die Reizung überhaupt effectiv ist. Sie führt nämlich zu der äusserst wichtigen Consequenz, dass Variationen in der Schlaghöhe sich nur aus veränderlichen Eigenschaften des Muskels selbst erklären lassen. Als Kronecker und Stirling (2) später fanden, dass die Stärke der Pulsschläge bei dem abgeschnürten Ventrikel hastig abnahm, wenn anstatt der Blutflüssigkeit 0.6 Proc. NaCl-Lösung hineingeleitet wurde, war damit also bewiesen, dass die Kochsalzlösung nicht die für die Functionen der Musculatur nothwendigen chemischen Bedingungen bietet. Indess bewirkte der Austausch von Blut gegen Salzwasser auf einmal die Entfernung einer grossen Anzahl ohemischer Faktoren, und es erübrigte also zu erforschen, welche von diesen Faktoren wesentlich sind und die Ueberlegenheit der Blutflüssigkeit bedingen.

Merunovics,² welcher sich mit dieser Aufgabe beschäftigte, constatirte, dass die Asche von Serum und in noch höherem Grade die Asche von dessen Alkoholextract nach Auflösung in Wasser die Herzschläge besser unterhält als die reine NaCl-Lösung, und dass dieser Umstand zum Theil auf einer günstigen Wirkung des Alkalicarbonats beruht. Stienon (3) machte kurz darauf die Beobachtung, dass der Unterschied in der Wirkung des frischen Serums und des Filtrates aus demselben Serum, erhitzt zum Sieden, hauptsächlich in einer der Zeit nach mehr begrenzten Fähigkeit des letzteren liegt, ein Herzpräparat zu rehabilitiren, dessen Kraft durch Behandlung mit reiner NaCl-Lösung auf ein Minimum gesunken ist. Er fand auch, dass eine Aufhebung der Alkalescentz des Serums durch Neutralisation mit Säure in wesentlichem Grade dessen Fähigkeit, die Herzarbeit aufrecht zu erhalten, verringerte. Endlich zeigte er, dass eine mit 0.1 Proc. Na_2CO_3 alkalisirte NaCl-Lösung wieder Contractionen einleitet, wenn das Herz aufgehört hat, bei Speisung mit einer neutralen NaCl-Lösung zu schlagen. Später fand Gaule (4), dass kleine Mengen NaOH (1:200 000 bis 20 000 Wasser) in dieser Beziehung zu günstigeren Resultaten führen als das Carbonat, und er stellte titrimetrisch fest, dass sowohl das Alkali durch die Herzarbeit neutralisirt

¹ Cit. nach (2). Die Ziffern innerhalb der Klammern weisen auf das Litteraturverzeichnis hin.

² Cit. nach (3) und (4).

wurde, wie auch, dass der grössere Theil dabei mit einer in Kochung flüchtigen Säure, also wahrscheinlich Kohlensäure, eine Bindung einging. Dadurch, dass er für erneuerte Alkalizufuhr sorgte, gewann er dem Herzen eine mechanische Arbeit ab, welche er nur durch die Annahme erklären zu können vermeinte, dass der Herzmuskel während der Arbeit von einem in seiner eigenen Substanz magazinirten Vorrath von chemischer Spannkraft zehrte.

Martius (6), welcher von Gaule's Erklärung nicht befriedigt war, betonte die Schwierigkeit, alle Blutreste vollständig zu entfernen, und nahm an, dass das Alkali in Gaule's Experimenten die nutritiven Residuen der Assimilation leichter zugänglich machte. Selbst machte er Experimente in der Absicht, im Serum eine organische Substanz der Natur aufzusuchen, für die Entwicklung der Muskelkraft Material liefern zu können. Nachdem er Lösungen von Glykogen, Pepton und anderen Substanzen in Kochsalzflüssigkeit vergebens, aber mit ebenso entschiedenem positivem Resultat Serum und Lymphe geprüft hatte, machte er die Ansicht geltend, dass nur serumalbuminhaltige Flüssigkeiten dauernd die Energie des Herzens aufrecht erhalten können, und dass die Kraftentwicklung der Muskelzelle an die gleichzeitige Anwesenheit von Nutritionsmaterial in dem Gewebesafte gebunden ist. Der letztgenannte Schluss, welcher direct gegen Gaule's Auffassung stritt, gründet sich indess auf Experimente, welche wesentlich an Beweiskraft verloren haben, nachdem Ringer (8) (und mehrere vorhergegangene Mittheilungen desselben Autors) gefunden hat, dass die Anwesenheit von Calcium- und Kaliumsalzen zu einer verlängerten und erhöhten Herzarbeit beiträgt. Gestützt auf die letztgenannte Erfahrung macht Ringer die befugte Bemerkung, dass ein Herz seine Contractilität bei Ausspülung auch mit alkalisirter NaCl-Lösung verliert, nicht weil das Material für die Muskelkraft vollständig entfernt wird, sondern weil die Calcium- und Kaliumsalze vorher durch Diffusion ausgelöst werden. Bei deren Abwesenheit hört die Herzarbeit auf, obgleich das Muskelgewebe ohne Zweifel Material für fortgesetzte Kraftentwicklung enthält, das sich in den Muskelzellen selbst befindet und darum für Wegspülung schwer erreichbar ist. Ringer theilt die Ansicht, dass das Serumalbumin die Contractilität des Herzens erhöht, scheint aber unentschieden zu lassen, ob es dabei die Rolle eines Nutritionsmaterials für den Muskel spielt.

Im Gegensatz zu der allgemeinen Ansicht glaubte Heffter (14) gefunden zu haben, dass spezifische Eigenschaften der rothen Blutkörperchen diese für die Herzarbeit unentbehrlich machen, welche nach seinem Dafürhalten von einer Flüssigkeit bedient wird, die rothe

Blutkörperchen enthält, mit dem Gewebe isotonisch und dem Blute isoviskos ist. Albanese (16) weicht insofern ab, als er ausser den genannten physikalischen Eigenschaften nur einen gewissen Sauerstoffgehalt der Flüssigkeit erforderlich findet, gleichviel ob der Sauerstoff in der Flüssigkeit gelöst oder an die Formelemente gebunden ist. Keiner von diesen Autoren setzt die Anwesenheit von Calcium- und Kaliumsalzen als nothwendig voraus.

Locke (17) theilt Experimente mit, welche nach seiner Vermuthung zeigen, dass ein Zusatz von Traubenzucker zu einer unorganischen Flüssigkeit diese in höherem Grade geeignet macht, die Kraft des Herzens zu erhalten.

Endlich wird von Greene (20) theoretisch nachgewiesen, wie er durch Verlegung der Kraftquelle in das Serumalbumin des Blutes und Gewebesafte ausschliesslich, wozu Martius und seine Nachfolger geneigt gewesen sind, gestützt auf seine Experimente mit dem Herzmuskel der Schildkröte, zu ganz absurden Schlüssen über den Blutgehalt des ausgespülten Gewebes kommen würde. Er ist deshalb, wie Gaule der Ansicht, dass der Muskel in sich einen Vorrath von bereits assimilirtem Kraftmaterial besitzt und während der Arbeit von ihm zehrt.

II. Versuchstechnik.¹

Auf diesem Standpunkte befindet sich augenblicklich die Frage betreffs der substantiellen Bedingungen für den Fortgang der Herzarbeit. Durch eine Reihe Experimente hat Verfasser es versucht, sie ihrer Lösung einen Schritt näher zu bringen. Als Versuchsobject hat dabei ausschliesslich das Herz der *Rana esculenta* gedient, welches immer, wenn nichts Anderes angegeben ist,² als ein Ganzes herauspräparirt und in dieser Form für die Experimente verwandt worden ist. Die technische Anordnung ist die in Fig. 1 wiedergegebene gewesen.

Zwei Reservoirs, A_1 und A_2 , können, das eine nach dem anderen, mittels des Kranes T mit einer in den rechten Herzvorhof mündenden elastischen Leitung in Verbindung gebracht werden, welche nur wenige Centimeter vom Herzen eine starre Seitenröhre nach dem Gummimanometer M_1 abgibt. Der Flüssigkeitsstrom, welcher wäh-

¹ Die Geräte sind zum grossen Theil dieselben, welche Prof. Oehrwall im Zusammenhang mit seinen am Froschherzen ausgeführten Erstickungsversuchen beschrieben (19) und die er dem Verfasser freundlichst zur Verfügung gestellt hat.

² Betreffend die Technik bei den S. 13, 15 und 23 angeführten Experimenten, wo anstatt dessen die nach Bowditch's Vorbild abgeschnürte Kammer Spitze zur Anwendung gekommen ist, sei auf S. 13 verwiesen.

rend der Herzarbeit durch die Aortacannüle a herausgetrieben wird, passiert eine neue elastische Röhrenleitung — gleichfalls nahe dem Herzen mit einem Gummimannometer M_2 verbunden — und kann mit Hilfe von Schraubenklammern entweder nach der 10 cm über dem Flüssigkeitsniveau in A_1 bzw. A_2 befindlichen Zweigmündung P oder nach einer der 3 cm über demselben A -Niveau befindlichen Flüssigkeitsmassen in den Schalen S_1 bzw. S_2 geführt werden. In diesen letztgenannten ist einerseits für constante Flüssigkeitshöhe, andererseits für den kontinuierlichen Abfluss der aufgeförderten Flüssigkeit längs einem schräg gegen die Abflusssrinne¹ gelehnten Glasstabe nach den darunter liegenden Gefäßen B_1 bzw. B_2 gesorgt, welche sie durch communicirende Röhren nach A_1 bzw. A_2 zurückgeben. Es ist also die Möglichkeit vorhanden,

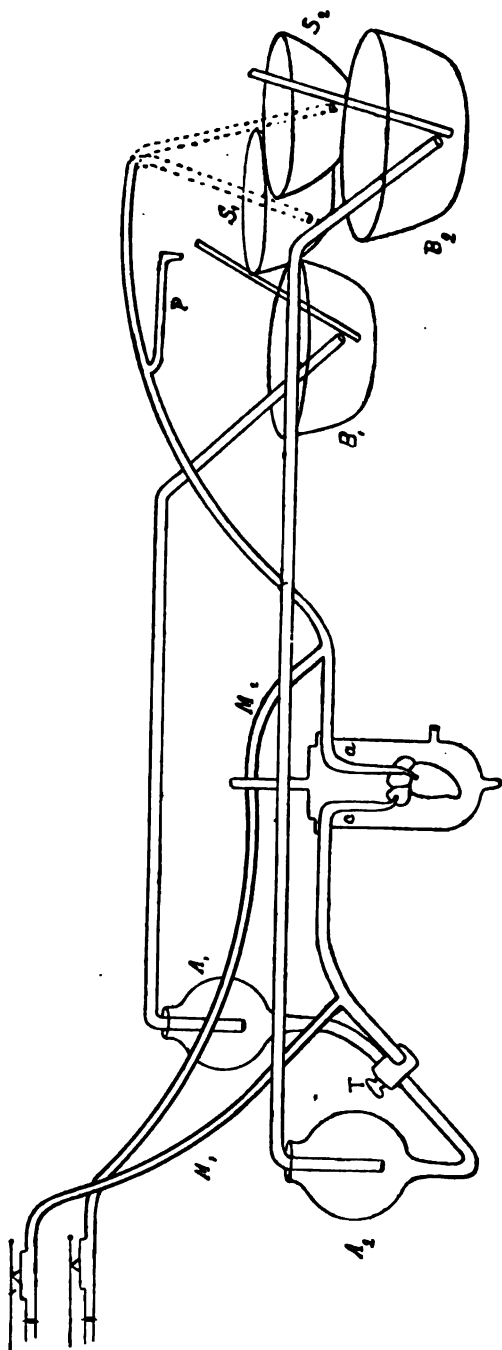


Fig. 1.

¹ Diese ist in der Figur in Folge eines Versehens nicht gezeichnet worden.

durch das Herz auf zwei Wegen: $A_1TS_1B_1A_1$ und $A_2TS_2B_2A_2$ einen geschlossenen Kreislauf zu Stande zu bringen. Die Flüssigkeitsmenge, welche bei den angeführten Experimenten in Arbeit genommen worden ist, hat für jedes System 650^{ccm} betragen. Das Herz treibt sie continuirlich nach einem 3^{cm} höheren Niveau, von welchem sie passiv zurückkehrt.

Die Präparation des Herzens wird so ausgeführt, dass nach Anbringung von Ligaturen über der Vena pericardiaca, den Venae cavae superiores und dem Truncus arteriosus dexter eine Kanüle durch die Vena cava inferior. mit der Mündung in den rechten Vorhof eingebunden wird, und eine andere durch den Truncus arteriosus sinister mit der Mündung an der Bulbuswurzel. Dann wird die Herzcavität mit Salzflüssigkeit ausgespült, bis letztere farblos abgeht. Das Organ wird in seinem Zusammenhange mit den beiden Lungen herauspräparirt; über jede Lungenwurzel wird eine Ligatur gelegt, und die ausserhalb liegenden Lungentheile werden entfernt.

Mittels über die freien Canülenden gezogener Gummiröhren wird das Herz mit der Leitung in Verbindung gebracht, deren Röhren vorher mit der für die Circulation bestimmten Flüssigkeit gefüllt worden sind. Der Druck auf den Vorhof wird durch Heben und Senken der Canülenfassung auf einem verticalen Stativpfeiler abgepasst. Für rein krystalloide Flüssigkeiten liegt das Druckoptimum in der Vorhofleitung erwiesenermaassen bei 1.5 bis 3.5^{cm} Flüssigkeitsdruck, für colloide Lösungen etwas höher — doch nicht über 5^{cm}. Wird dieses beobachtet, und vermeidet man es also, den Vorhof mit starkem Druck zu belasten, wozu umso weniger Veranlassung vorliegt, als der Blutdruck im Vorhof zur Lebenszeit keine bedeutende Höhe erreicht, so hat man bei der beschriebenen Anordnung, d. h. bei einem Gegen-druck in der Abflussleitung, welcher nicht 8^{cm} Flüssigkeit übersteigt, nach der Erfahrung des Verfassers (ungefähr 80 Experimente) nur äusserst selten Insufficienz im Atrioventricularostium zu befürchten, sofern nicht besondere Voraussetzungen für eintretende Schloffheit der Musculatur vorliegen.

Nachdem das Herz unter geeigneten Druckverhältnissen in den Apparat eingepasst worden ist, wird es von einer zum Gaswechsel mit zwei Ansatzröhren versehenen Glashaube umgeben, durch welche das Gas oder die Gasmischung geleitet wird, welche für die Respiration bestimmt ist. Das Gas hat Zimmertemperatur und wird dadurch feucht gehalten, dass es vor der Hineinleitung eine Waschflasche passirt. Die Temperatur in der Haube wird von einem in der Metallfassung angebrachten Thermometer abgelesen. Besondere Sorgfalt ist dem

Gaswechsel des Herzens gewidmet worden, da es durch Experimente von Rossbach,¹ Langendorff (11) und Oehrwall (19) dargethan worden ist, dass Erstickung Arrhythmie oder Schwächung der Herzkraft hervorruft, also in jedem Falle das Resultat der Herzarbeit beeinträchtigt.

Um die Erscheinungen während des Experimentes zu registriren, sind folgende Anordnungen getroffen worden. Die Gummimanometer M_1 und M_2 zeichnen die Druckveränderungen in den Zu- und Abflusssystemen (den „Venenpuls“ und „Arterienpuls“) auf den rotirenden Cylinder eines Balzar-Kymographions auf. Die Registrirung wird während stattfindender Circulation ausgeführt und dient hauptsächlich dazu, den rhythmischen Charakter der Herzthätigkeit wiederzugeben. Zufolge des Weitergehens der Circulation parallel mit der Registrirung ist es nur innerhalb gewisser Grenzen gestattet, aus der Grösse der Manometerausschläge die Stärke der Herzarbeit bei verschiedenen Gelegenheiten zu beurtheilen und zu vergleichen. Einer solchen Schätzung wird anstatt dessen die Flüssigkeitsmenge zu Grunde gelegt, welche das Herz bei einer gegebenen Gelegenheit mit jedem Pulsschlage durch die 10^{cm} über dem A-Niveau belegene Reservemündung P hinauszutreiben vermag. Nachdem die Leitung nach S und eventuell der Manometer M_2 abgesperrt worden ist, wird bei P die Flüssigkeit von einer Anzahl (20 bis 100) Pulsen in graduirten Gefässen heraufgeholt, wonach der arithmetische Mittelwerth berechnet wird. Die Veränderungen dieses Mittelwerthes sind es, welche in einigen nachfolgenden Figuren graphisch wiedergegeben werden. Die im Messgefässe heraufgeholte Flüssigkeit wird in das circulirende Flüssigkeitssystem zurückgegeben, oder durch eine neue, ebenso grosse Reservequantität von derselben Flüssigkeit ersetzt.

Mit Kenntniss des Niveauunterschiedes zwischen P und $A_1 A_2$ (10^{cm}), der Pulsapacität, bestimmt wie oben, und der Pulsfrequenz, wie sie aus den Manometercurven durch Vergleich mit einer gleichzeitig aufgezogenen Zeitcurve hervorgeht, lässt sich für die ausgeführte Arbeit ein Minimalwerth erhalten.

III. Eigene Untersuchungen.

Um systematisch zu erforschen, weshalb die Herzarbeit von der Blutflüssigkeit, aber nicht von der Kochsalzlösung (Kronecker und Stirling l. c.) unterhalten wird, kann man theoretisch zwei Wege einschlagen. Entweder kann man dem Blute die eine Substanz nach

¹ Cit. nach (19).

der anderen rauben und allmählich die neuen Substrate prüfen, bis man zu einem hinuntergekommen ist, dessen Wirkung sich nicht von der des Salzwassers unterscheidet; oder man kann von dem Salzwasser ausgehen und die verschiedenen Bestandtheile des Blutes in dem Verhältniss hinzusetzen, wie sie durch die Blutanalyse dargethan worden sind, bis man ein Substrat erhält, dessen Wirkung nicht von der des Blutes abweicht. In der vorliegenden Arbeit ist aus praktischen Gründen eine Combination dieser beiden Verfahrungsweisen angewandt worden.

Durch McGuire's (5) Experimente ist es bekannt, dass das Kaninchenblut als Mittel, die Arbeit des Froschherzens zu unterhalten, an Wirkung gewinnt, wenn es mit seinem doppelten Volumen physiologischer Kochsalzlösung verdünnt wird. Das Rinderblut verhält sich in dieser Hinsicht in gleicher Weise. Nach Verdünnung mit zwei Volumen 0.7 proc. NaCl-Lösung unterhält es lange reguläre Arbeit seitens des isolirten, in das System eingefügten Herzens. Es wurde deshalb als entschieden betrachtet, dass diese Blutflüssigkeit alle die wichtigsten Vorbedingungen für den normalen Fortgang der Arbeit besitzt, und betreffs der organischen Stoffe war es überdies wahrscheinlich, dass sie in der absoluten und relativen Menge, welche von dem angewandten Versuchsobjecte verlangt wurde, vorhanden waren. Der Plan für den Fortgang der Arbeit war dann der, nach chemischen Analysen eine Salzflüssigkeit zu construiren, entsprechend den Salzen in einem mit zwei Theilen 0.7 proc. NaCl-Lösung verdünnten Rinderblut, aus dieser etwaige unwichtige Ingredienzien auszuschneiden und auf der Grundlage der so nur wesentliche Bestandtheile enthaltenden Restflüssigkeit auf synthetischem Wege die Bedeutung der organischen Stoffe des Blutes zu prüfen.

A. Darstellung einer Lösung der für die Herzarbeit nöthigen Serumsalze.

Aus leicht einzusehenden Gründen hat man bei der Darstellung einer solchen Salzflüssigkeit auf die in der Serumflüssigkeit befindlichen Salze, nicht aber auf die in den Formelementen absorbirten Rücksicht zu nehmen. Unter der Voraussetzung, dass das Serum $\frac{2}{3}$ des Blutvolums beträgt,¹ wäre also zur Lösung der ersten Aufgabe eine Analyse der freien Salze im Rinderblutserum nöthig. In Ermangelung einer

¹ Wie Verf. später aus den Untersuchungen Hedin's (*Archiv für d. ges. Physiol.* Bd. LXVIII) erfahren hat, ist das Serumvolumen in der That kleiner als $\frac{2}{3}$. Diese Fehlschätzung kann aber für die folgenden Resultate kaum von Belang sein.

solchen war zu hoffen, mit Hülfe der Analysen über die Serummasse, beispielsweise der Bunge'schen,¹ das Ziel erreichen zu können. Ueber diese ist indess zu bemerken, theils dass die Menge der Carbonatkohlensäure natürlich nicht in der Aschenanalyse angegeben werden kann, theils dass die Frage, ob überhaupt, und im Bejahungsfalle, ein wie grosser Theil von den Ca- und Mg-Radikalen in organischer Bindung vorkommt, unbeantwortet gelassen wird, und endlich, dass die Werthe für das Phosphat einer Berichtigung bedürfen, welche auch in den späteren Analysen von Sertoli² wiedergefunden wird. Es geschah also mit einem gewissen Zögern, dass Verf. die Flüssigkeit prüfte, welche dadurch entsteht, dass der ganze Alkaliüberschuss als an CO_2 in Form von Bicarbonat gebunden specificirt und die Ca- und Mg-Mengen der Aschenanalyse beibehalten werden. Die Prüfung ergab dennoch ein verheissungsvolles Resultat.

Indess galt es zunächst festzustellen, ob alle die besonderen Ingredienzien in der reconstruirten Lösung der Serumsalze für die Herzarbeit von Bedeutung sind oder nicht. Bei darauf gerichteten Experimenten zeigte es sich, dass weder die Ausschliessung des Mg-Salzes, noch die Abwesenheit des Sulfates eine Einschränkung in der Intensität oder Dauer der Herzarbeit im Gefolge hatte. Diese beiden Radikale wurden deshalb als überflüssig betrachtet und von der ursprünglichen Composition ausgeschlossen, wodurch man eine neue von folgendem Aussehen³ erhielt:

NaCl	0.65	Proc.
NaHCO_3	0.1	„
KCl	0.01	„
CaCl_2	0.0065	„
{ Na_2HPO_4	0.0009	„
{ NaH_2PO_4	0.0008	„

¹ In O. Hammarsten, *Lehrb. der physiol. Chemie*. 3. Aufl. S. 111 cit.

² Vgl. Hammarsten, *Lehrbuch der physiol. Chemie*. 3. Aufl. S. 111.

³ Die Bereitung der obenstehenden Lösung geschieht ex tempore aus Stammflüssigkeiten, welche aufbewahrt werden können, die des Bicarbonates doch nur eine kurze Zeit in einer gefüllten, gut geschlossenen Flasche. Eine 1 proc. Stammflüssigkeit von Na_2HPO_4 wird dadurch bereitet dass man 25.21^g Krystalle von der Formel $\text{Na}_2\text{HPO}_4 + 12\text{H}_2\text{O}$ (Natrium phosphoricum der deutschen Pharmakopöe) in einem Liter Aqua dest. löst. Von NaH_2PO_4 kann man eine Stammflüssigkeit von derselben Stärke erhalten, wenn 14.9^g derselben Krystalle nebst 20.4^g Phosphorsäure von 20 Proc. H_3PO_4 (Acidum phosphoricum der deutschen Pharmakopöe) in Aqua dest. zu einem Liter Volumen gelöst werden.

Während der Einwirkung der Wasserlösung dieser Salze herrscht bei einem in den Apparat gesetzten Herzen mehrere Stunden lang derselbe allgemeine Contractionstypus, dieselbe Frequenz und derselbe Rhythmus wie bei der Speisung mit Blutmischung (ein Theil Blut und zwei Theile 0.7 proc. NaCl-Lösung). Das Verhältniss zwischen den besonderen Salzmengen spielt eine wichtige Rolle dabei, denn wenn dasselbe verändert wird und man für die Circulation z. B. die von Ringer vorgeschlagene Flüssigkeit¹ wählt, so zeigt das Herz einen anderen Contractionstypus und eine andere Schlagfrequenz (Fig. 2 A und B).

Bei der Wahl zwischen verschiedenen Salzflüssigkeiten hat man zu berücksichtigen, dass die für das Herz geeignetste auch das nachhaltigste Arbeitsergebnis zu geben hat. Um die Einwirkung der leicht diffundirenden Salzlösung eine längere Zeit verfolgen zu können, wird dieselbe mit einer indifferenten colloiden Substanz versetzt, welche das zu schnelle Schwinden der schwerer diffusiblen organischen Stoffe aus der Musculatur verhindert. In einem angestellten Experimente wurden die Salzmengen, welche in der Formel erwähnt werden, in einer 0.75 proc. Lösung von Gelatine aufgelöst, welche durch 14tägige Waschung mit destillirtem Wasser gereinigt worden war. Mit dieser Flüssigkeit liess man ein während der Präparation durch sorgfältige Ausspülung von Blut möglichst befreites Herz arbeiten. Im Anfang des Versuches betrug das Pulsvolumen 0.20 ^{ccm}, nach 32 Stunden, als der Versuch abgebrochen wurde, noch 0.09 ^{ccm} bei der ganzen Zeit hindurch beibehaltener regelmässiger Schlagfolge.² Die regelmässige, lange dauernde Herzarbeit zeugt am besten davon, dass die vorgeschlagene Salzlösung als Grundlage für eine artificielle Circulationsflüssigkeit vor anderen bisher geprüften den Vorzug haben muss.

Indess hat sie mit jeder anderen rein anorganischen Flüssigkeit die Eigenschaft gemein, das Herz nicht in der Länge leistungsfähig erhalten zu können. Bei reiner Salzdiät geht die Musculatur unfehlbar einem Stadium entgegen, wo die Dimensionen der Pulsschläge abnehmen. Betreffend die Zeit, welche bis dahin verfliesst, zeigen indess verschiedene Herzen bei vollkommen gleicher Anordnung bedeutende individuelle Variationen. Während das Pulsvolumen bei der Mehrzahl

¹ Bereitet aus 100 ^{ccm} 0.6 proc. NaCl-Lösung, 1 ^{ccm} 1 proc. NaHCO₃-Lösung, 1 ^{ccm} 1 proc. Lösung von CaCl₂ und 0.75 ^{ccm} 1 proc. Lösung von KCl.

² Dass die Anwesenheit von Gelatine in diesem Falle eine bedeutende Verlängerung des Arbeitsergebnisses zur Folge gehabt hat, wird bei einem Vergleich mit solchen Experimenten (siehe z. B. Fig. 4) deutlich, wo dieselbe Salzflüssigkeit ohne Gelatinezusatz angewandt worden ist.

in stetem Sinken begriffen ist, nachdem man angefangen hat, die Salzflüssigkeit hineinzuleiten, erhält es sich bei anderen bis 6 Stunden lang (vom Verf. notirt Maximum) unverändert trotz der mit der Arbeit fortschreitenden Ausspülung der Blutreste und des Gewebesafes.

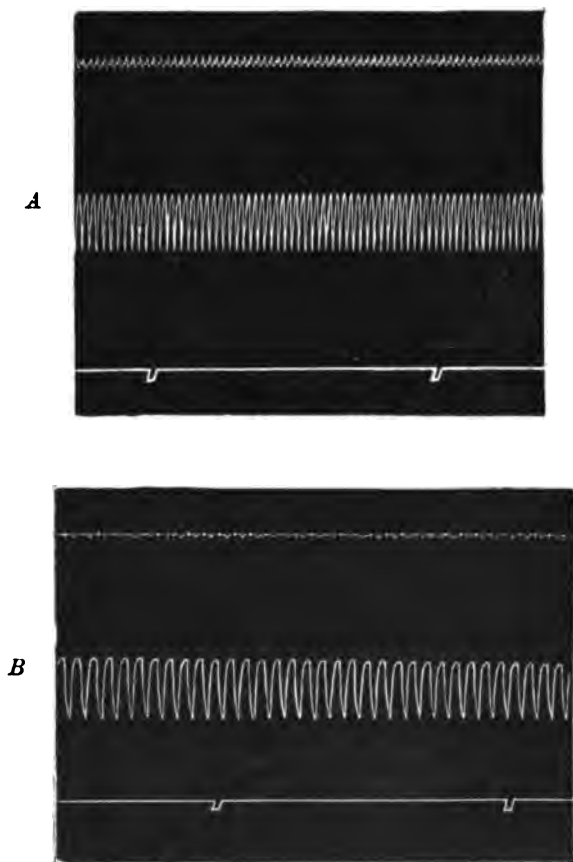


Fig. 2. Manometercurven von einem Herzen, welches bei A mit einer Lösung der Serumsalze (nach Ausschliessung von Mg und H_2SO_4), bei B mit Ringer's Flüssigkeit arbeitet. Der Vorhof schreibt oberhalb der Kammer. Zeitmarkierung in Minuten.

Der letzterwähnte Umstand, zusammengestellt mit der Erfahrung, dass die für die Ausspülung am leichtesten erreichbare Musculatur des Vorhofes in keiner Weise schneller geschwächt wird als die Kammermusculatur, scheint uns bestimmt dafür zu sprechen, dass es in den Muskelzellen selbst einen seiner Menge nach variablen Vorrath von

schon assimilirtem Brennmaterial giebt, welcher in dem Maasse in Anspruch genommen wird, wie die Assimilation aus Mangel an Nahrungszufuhr aufhört.

B. Ueber die Bedeutung der besonderen anorganischen Substanzen des Blutes.

In Anbetracht der Weise, wie unsere Salzflüssigkeit erhalten worden ist, muss es als eine gegebene Folge angesehen werden, dass sie in ihrem unveränderten Zustande die Herzarbeit besser unterhält, als wenn eines der in der Composition enthaltenen Salze ausgeschlossen wird. Andererseits ist man berechtigt, im analytischen Interesse einzelne Radikale auszuschliessen. Durch Feststellung der hierbei eintretenden Abweichungen von den normalen Verhältnissen haben wir die Natur der Einwirkung der verschiedenen Salze auf die Herzarbeit darzuthun versucht.

a) Chlornatrium, Alkali und Kohlensäure.

Von allen Salzen des Blutes ist NaCl das gegen das Gewebe indifferenteste, dasjenige, welches mit dem geringsten Schaden eine mit diesem isotonische Concentration zulässt, welche seit Nasse's (1) Untersuchungen als Grundvoraussetzung dafür betrachtet worden ist, dass eine Flüssigkeit den lebenden Geweben günstige Bedingungen darbieten soll. Die Bedeutung des Kochsalzes ist mit anderen Worten die schon lange bekannte, nämlich die, in einer Wasserlösung von geeigneter Stärke ein verhältnissmässig indifferentes Medium zu bilden. Indess ist darin nicht, wie mehrere Forscher stillschweigend angenommen, einbegriffen, dass Chlornatrium die übrigen Salze in anderen Functionen als der osmotischen ersetzen kann. Bald wird hervorgehen, dass dies nicht der Fall ist.

Das Alkali erhöht die Excursionsfähigkeit des mit NaCl-Lösung behandelten Herzmuskels (Stienon, Gaule l. c.). Es ist auch, wie Gaule dargethan, in dem arbeitenden Muskel einem steten Verbrauch unterworfen, weshalb die zusammengelegte Acidität der Verbrennungsproducte diejenige des der Verbrennung unterworfenen Materiales übersteigen muss. Von Interesse ist es dann, zu erforschen, wie die Herzarbeit sich gestaltet, wenn dem Ueberhandnehmen der Acidität kein Hinderniss in den Weg gelegt wird, wenn also kein Alkali, wohl aber übrige, für den Gang der Arbeit erforderliche Salze zugesetzt werden. Bei Versuchen zeigte es sich, dass das Herz mit einer Salzlösung ohne Bicarbonat nur kraftlose, langsame Excursionen um eine halbcontrahirte Mittellage auszuführen, nicht aber seinen Inhalt durch die Leitung hindurch zu treiben vermochte. Die Pula-

frequenz, welche zu Anfang des Versuches 26 betrug, war nach 30 Minuten bei einer Temperatur von 16.5°C . nur 21. Nach zwei Stunden, als noch schwache Contractionen erkennbar waren, ward alkalisirte (0.1 proc. NaHCO_3) Salzlösung hineingeleitet, welche die Ausschläge indess nur unbedeutend verstärkte und das Herz nicht zu mechanisch wirkenden Pulsationen befähigte. In der That ist also das Bicarbonat nur wenig geeignet, die Motilität der durch lange dauernden Alkalimangel geschwächten Musculatur wieder herzustellen. Um zu erforschen, ob das Hydroxyd in dieser Hinsicht dem Bicarbonat überlegen ist, wurde ein neuer Versuch gemacht, dieses Mal an einer abgeschnürten Herzspitze, welche mittels einer modificirten Kronecker-Kanüle in den Apparat hineingefügt war. Die Herzspitzencauität mit dem nächsten Theile der Leitung, einschliesslich dem einen Manometer, wurde vom Rest des Leitungssystemes abgesperrt, so dass die Grösse der Manometerausschläge je nach der Stärke der Spitzencontractionen variirt. Die Reizung erfolgte durch Oeffnungsinductionsschläge¹ mit einer Frequenz von 20. Nachdem das Präparat mit neutraler Flüssigkeit eine Stunde lang gearbeitet hatte, wurde constatirt, dass nach Austausch gegen eine mit 0.1 proc. NaHCO_3 alkalisirte Flüssigkeit kaum eine Veränderung in der Grösse der Ausschläge eintrat, dass aber eine neue, mit 0.002 proc. NaOH alkalisirte Flüssigkeit Ausschläge erzeugte, welche grösser waren als die zu Anfang des Versuches (die Spülung während der Präparation war mit neutraler Flüssigkeit erfolgt). Bei Einführung der alkalisch wirksamen Faktoren sank die Reizbarkeit des Muskels, so dass stärkere Inductionsschläge nöthig wurden, um die Reizung unfehlbar zu machen.

Trotzdem man es als entschieden betrachten kann, dass das Hydroxyd unter den während des angeführten Experimentes obwaltenden Vorbedingungen wirksamer ist als das Bicarbonat, so folgt daraus nicht, dass es in einer für ununterbrochene Circulation bestimmten Flüssigkeit vorzuziehen sei, umso weniger, als kohlenensäurebindendes Alkali erwiesenermaassen die Reizbarkeit der Musculatur heruntersetzt. Als Gaule die dem einfachen Carbonat überlegene Restitutionsfähigkeit des Hydroxydes beobachtete, deutete er diesen Umstand so, dass das Hydroxyd die in den Geweben angesammelte Kohlensäure leichter unschädlich macht. Man hat dann mit weiterer Stütze von Saltet's (7), Ringer's (13) u. A. Untersuchungen über den Einfluss der Kohlensäure auf den Herzmuskel die Bedeutung des Alkalis hauptsächlich als die eines CO_2 -bindenden Agens hervorzuheben gepflegt. Um zu erforschen, inwieweit eine solche Auffassung auf das frei arbeitende Herz

¹ Grenet's Element; Blix' Inductorium; Ludwig's Strombrecher, modificirt.

bei gleichzeitiger reichlicher Sauerstoffzufuhr angewandt werden kann, wurden mit Mischungen von Kohlensäure und Sauerstoff in verschiedenen Verhältnissen einige zwanzig Experimente angestellt, von denen einige in den Hauptzügen hier wiedergegeben werden:

Experiment den 12./I. 1899. Salzflüssigkeit (0.65 Proc. NaCl; 0.1 Proc. NaHCO_3 ; 0.01 Proc. KCl; 0.0065 Proc. CaCl_2).

Atmosphäre: 80 Proc. Sauerstoff, 20 Proc. Kohlensäure. Temp.: 19°C .

Zeit	Pulsfrequenz	Pulsvolumen
12 ^h	32	0.215 ^{ccm}
1 ^h 5'	32	0.17
2 ^h	27	0.19
3 ^h	25	0.20
4 ^h 12'	26	0.21
5 ^h 10'	34	unmessbar klein.

Experiment den 13./I. Salzflüssigkeit (0.65 Proc. NaCl; 0.1 Proc. NaHCO_3 ; 0.01 Proc. KCl; 0.0035 Proc. CaCl_2).

Atmosphäre: 90 Proc. Sauerstoff, 10 Proc. CO_2 . Temp.: 18.2° .

Zeit	Pulsvolumen
7 ^h 10'	0.25 ^{ccm}
8 ^h 10'	0.22
9 ^h 10'	0.20
10 ^h 10'	0.18
11 ^h 10'	0.14
14./I. 12 ^h 10'	0.11
6 ^h 10'	unmessbar klein.

Die Kammer folgt jeder zweiten Zusammenziehung des Sinus. Von den Vorhöfen sind keine Excursionen zu sehen.

Experiment den 5./I. Salzflüssigkeit (0.65 Proc. NaCl; 0.1 Proc. NaHCO_3 ; 0.01 Proc. KCl; 0.01 Proc. CaCl_2), versetzt mit einer geringen Menge von dialysirtem Serum. Temp.; 18.5 bis 15.5°C .

Atmosphäre: Sauerstoff.

Zeit	Pulsfrequenz	Pulsvolumen
2 ^h 40'	29	0.21 ^{ccm}
4 ^h 28'	33	0.12
6 ^h 20'	35	0.07
6 ^h 26'	Atmosphäre von 1 Theil CO_2 und 14 Th. O_2 .	
6 ^h 36'		
8 ^h 42'	33	0.15
10 ^h 40'	33	0.15
6./I. 2 ^h 35'	30	0.15
9 ^h	27	0.06
1 ^h 5'	28	0.015

In den zwei ersten Experimenten producirt das Herz trotz des steten Einflusses von bedeutenden Mengen Kohlensäure (20 bzw. 10 Proc.) eine bedeutende mechanische Arbeit.

Aus dem zuletzt angeführten Versuche geht hervor, dass das Herz unter gewissen Bedingungen in einer Atmosphäre, welche Kohlensäure in einer Menge von höchstens 7 Proc. enthält, sogar kräftiger arbeitet, als in reinem Sauerstoff. Nachdem der Kraftbestand des Herzens bei Respiration mit reinem Sauerstoff dahin gesunken ist, dass seine Arbeit, nach ähnlichen Fällen zu urtheilen, binnen Kurzem aufgehört haben würde, bewirkte die Einführung der Kohlensäure in die Atmosphäre eine ansehnliche Vermehrung der Arbeitsfähigkeit, so dass das Herz eine neue, mehr als vier Mal grössere Arbeit wie vorher ausführte.

Die Experimente bezeugen einstimmig, dass Kohlensäure bei gleichzeitiger Anwesenheit von einer genügenden Menge Sauerstoff, wie kohlensäuregebundenem Alkali nicht die schädlichen Wirkungen ausübt, wie eine mit Kohlensäure behandelte carbonatfreie Lösung bei gleichzeitigem Fehlen oder Mangel an Sauerstoff. Ein solches Resultat erscheint nicht geeignet, Erstaunen zu erregen, wenn man bedenkt, dass unter physiologischen Verhältnissen im Blute und in noch höherem Grade in den Geweben ein verhältnissmässig bedeutender Kohlensäurepartialdruck herrscht. Ferner berechtigen die Versuche zu dem Schluss, dass das Alkali auch in der Form von Bicarbonat wirksam sein kann, d. h. ohne die Kohlensäure chemisch zu binden, denn ein Arbeitsergebnis, wie in dem zuletzt angeführten Experiment, wo der Kohlensäureüberschuss für hinreichend genug betrachtet werden muss, um die Anwesenheit von neutralem Carbonat auszuschliessen, lässt sich nicht mit einer alkali- bzw. alkalicarbonatfreien Lösung erhalten. Es ist anzunehmen, dass das Bicarbonat die nicht flüchtigen sauren Producte der Verbrennung unschädlich macht, welche, obgleich in geringer Menge gebildet (Gaule, l. c.), in ihrem unveränderten Zustande desto nachtheiliger auf die Functionen des Gewebes einwirken würden.

Eine totale Aufhebung der CO_2 -Tension ist übrigens unbedingt zum Schaden des Muskels, weil sie von herabgesetzter oder aufgehobener Irritabilität begleitet wird. Nachstehendes Experiment zeugt davon. Eine Herzspitze wurde mit Salzflüssigkeit, alkalisirt mit 0.002 Proc. NaOH, gespeist und dann im Sauerstoffstrom respirirt. Sie reagirte unmittelbar nach der Einsetzung bei einer Reizungsfrequenz von 21 auf Inductionsschläge vom Valor 42. Nach Verlauf von 27 Minuten waren Reizungen von der Stärke 70

nöthig, um Effect zu erhalten. Nach weiteren 40 Minuten hörte der Muskel auf, auf Reizungen von der Stärke 100 zu reagiren; die letzte Contraction entspricht auf der Manometercurve einer Höhe von 4^{mm} gegen 5.5^{mm} zu Anfang des Versuches. Nachdem 15 Minuten ohne Reaction auf die angewandten Reizungen verflossen waren, wurde der Sauerstoffstrom abgebrochen und eine Mischung von 95 Proc. O₂ und 5 Proc. CO₂ hineingeleitet. 12 Minuten nach dem Gasumtausch beginnt das Herz mit einzelnen Schlägen auf Reizungen von unveränderter Stärke (100) zu reagiren. Das Präparat wird dann ohne Reizung unter dem Einflusse der Gasmischung gelassen und nach weiteren 2^h 35', während welcher Zeit der Herzhalt nicht erneuert worden ist, erweist sich jede Reizung von der Stärke 45 wirksam.

Vom rein mechanischen Gesichtspunkte aus zeigt das Alkali einen besonderen Einfluss auf den Verlauf der Herzdiasole. Am allerdeutlichsten tritt dies bei Alkalisierung mit NaOH in geeigneter Quantität (0.002 Proc.) hervor, am liebsten wenn die Calciummenge auf das Allernothwendigste beschränkt wird, weil NaOH, wie wir später annehmen müssen, einen Theil von dem gebundenen Calcium der Zelle activirt. Unter dem Einflusse einer solchen Alkalisierung wird die Pulsperiode verkürzt, hauptsächlich weil die Dilatation mit einer für den Herzmuskel ungewöhnlichen Schnelligkeit erfolgt. Welche Bedeutung dies für die Labilität und Fähigkeit des Muskels, einer gegebenen Reizungsfrequenz zu folgen, haben muss, ist offenbar.

Wir getrauen uns nicht, die näheren Ursachen zu der Veränderung der Pulsperiode durch das Alkali zu erklären; nur vorschlagsweise sprechen wir die Vermuthung aus, dass das Alkali durch den der Contraction unmittelbar vorangehenden und sie begleitenden chemischen Process eine locale Neutralisation durchmacht, dass diese die Einwanderung einer neuen activen Alkalimenge zur Folge hat, wie dass diese Wiedereroberung eines temporär verlorenen Gebietes Seitens des Alkalis zu den Faktoren gehört, welche den Rückgang des Muskels in die mechanische Ruhelage bedingen.

Bei Ueberführung der gewonnenen Erfahrungen auf das Herz als ganzes Organ sieht man ein, dass dann, wenn die Alkalimenge über eine gewisse Grenze steigt, obschon ohne die chemische Integrität des Muskels zu bedrohen, die Gefahr entsteht, dass ihre die Reizbarkeit herabsetzende Wirkung sich geltend machen wird, und dass diese Gefahr wächst, je mehr die Herzarbeit geschwächt wird. Andererseits darf die Alkalescenz nicht unter ein gewisses Maass gesenkt werden, weil dann Gefahr vorhanden ist, dass die mechanischen Nachtheile von Alkalimangel hervortreten, und diese Gefahr ist um so grösser,

je kräftiger die Herzarbeit fortgeht. Die Quantität Alkali, welche für eine gewisse Arbeitsintensität günstig ist, wird es also nicht unbedingt für eine andere. Dazu kommt, dass das Alkali von einer etwas verschiedenen Wirkung auf die Vorhofs- und Kammermusculatur zu sein scheint. Bei der ersteren giebt die Anwesenheit von Kohlensäure bindendem Alkali (Na_2CO_3 , NaOH) erwiesenermaassen Veranlassung zu einer oft excessiven Verstärkung der Contractionen, während bei der Kammer die die Reizbarkeit herabsetzenden Wirkungen einer solchen Alkalescenz bald in den Vordergrund treten. Infolgedessen entstehen leicht Störungen in der Coordination der Herzbewegungen. Auch hat es sich in einzelnen Versuchen gezeigt, dass die Kohlensäure die Vorhofsthätigkeit in Mengen herabsetzt, von denen kaum eine schädliche Wirkung auf die Kammermuskeln verspürt wird. Ob und inwieweit in dieser Hinsicht die verschiedene Dicke der Kammer- und Vorhofswände eine Rolle spielen, muss dahingestellt werden. In einem angeführten Beispiel (18./1. S. 14) hörten die Vorhofscontractionen auf, während der Ventrikel und Sinus noch fortführen zu arbeiten. In Sauerstoffatmosphäre dagegen hört die Kammer vor dem Vorhof zu schlagen auf. Endlich scheint es, als ob zu starke Alkalescenz im Verein mit Kohlensäuremangel die Ursache einer Erscheinung wäre, die nicht selten eintritt, wenn das Herz eine Zeit (mindestens $3\frac{1}{2}$ Stunden nach der Erfahrung des Verf.) mit der vorgeschlagenen Salzflüssigkeit in reinem Sauerstoff gearbeitet hat. Die Kammer hört dann in einem verhältnissmässig frühen Stadium auf, dem Vorhofsrhythmus zu folgen, und mit regelmässigen Zwischenzeiten von regulären Schlägen trifft es ein, dass ein Kammerpuls synchronisch wird mit folgendem Vorhofspuls, dessen entsprechender Kammerpuls dann ausfällt. Die Inspection des Herzens macht in solchen Fällen den bestimmten Eindruck, dass die Impulse mit einer für den Vorhof geeigneten, für die Kammer allzu schnellen Frequenz kommen. Allmählich compliciren sich die Verhältnisse indessen, weil die Reizbarkeit der Kammermusculatur die Schwelle passirt und Schläge infolgedessen auszubleiben beginnen.

b) Calcium und Kalium.

In den Arbeiten von Merunovicz,¹ Stienon (3) und Gaule (4) findet man die ersten Angaben über Untersuchungen des Verhaltens der quantitativ unwesentlicheren Serumsalze zur Herzarbeit. Aufgemuntert von dem Effect, den sie von kohlensaurem und caustischem

¹ Cit. nach (3) und (4).

Natron erhalten, suchten die beiden letzten Forscher zu ergründen, ob KCl bzw. andere Salze das Alkali ersetzen könnten oder möglicher Weise eine ähnliche Wirkung hätten wie das Alkali. Da bei ihrer Weise, die Experimente anzuordnen, weder das Eine, noch das Andere vermerkt wurde, nahmen sie an, dass nur NaCl und Alkalicarbonat unter den anorganischen Stoffen im Serum von directer Bedeutung für die Herzarbeit wären. Die Unhaltbarkeit ihres Schlusses wurde von Ringer dargethan, welcher in einer grossen Anzahl von Arbeiten das Verhältniss des Kaliums und Calciums gegenüber dem functionirenden Herzmuskel zum Gegenstand sorgfältiger Beobachtungen gemacht hat. Durch diese ist constatirt, dass der abgeschnürte Ventrikel seine Reizbarkeit weit länger behält und grössere Ausschläge macht, wenn diese Salze in dem von Ringer angegebenen Verhältniss anwesend sind, als wenn sie fehlen. Um deren Verhältniss zur Herzarbeit weiter zu erforschen, waren indess Untersuchungen auf das ganze Herz mit der Möglichkeit, gleichzeitig die hierbei verrichtete Arbeit zu bestimmen, wünschenswerth. Aus diesem Grunde wurden folgende Experimente gemacht.

Bei Bereitung einer nach Serumanalysen reconstruirten Salzflüssigkeit wurde CaCl_2 vollständig ausgeschlossen, und ein ganzes Herz wurde

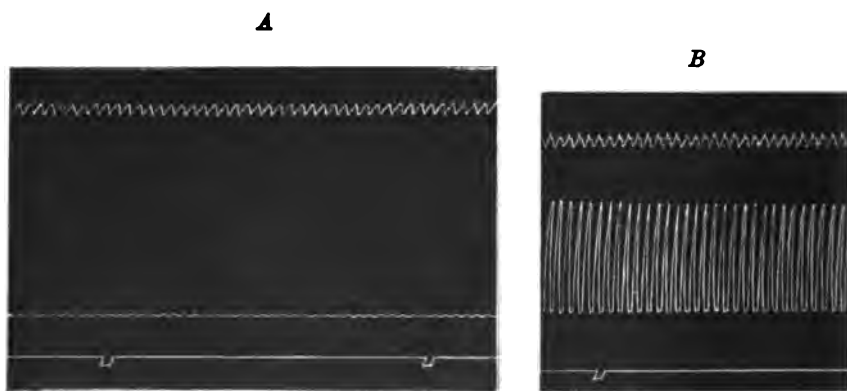


Fig. 3. Manometercurve A 11^h 28' von einem Herzen genommen, welches 23' mit einer Lösung von 0.65 Proc. NaCl, 0.1 Proc. NaHCO_3 , 0.01 Proc. KCl gearbeitet hat. Nachdem die Flüssigkeit 11^h 30' gegen eine neue vertauscht worden ist, welche zugleich 0.0065 Proc. CaCl_2 enthält, schreibt das Herz 11^h 33' die Manometercurve B.

dazu gebracht, mit der calciumfreien Restlösung zu arbeiten, deren Wirkung sich schon bei einer gründlichen Ausspülung während der Präparation hatte geltend machen können. Nach Einsetzung in den

Apparat zeigte es sich, dass die Contractionen zu unvollständig waren, um unter den dort herrschenden Druckverhältnissen den Herzhalt vorwärts zu treiben. Anstatt dessen wurde dann eine gleichartige Lösung, versetzt mit CaCl_2 zu 0.0065 Proc., hineinmanipuliert. In Fig. 3 werden graphische Proben der Herzarbeit vor und nach dem Calciumzusatz mitgeteilt; in Fig. 4 werden die Veränderungen des Pulsolumens skizzirt. Mit Leitung der Figuren findet man, dass das in Folge von Calciummangel geschwächte und zur Arbeit unfähige Herz nur Zufuhr von einer geeigneten Menge Calcium braucht, um eine Arbeit auszuführen, wozu die Anwesenheit der übrigen Serumsalze es nicht geschickt machen kann. Dieser Arbeit gegenüber ist das Resultat unwesentlich, welches im glücklichsten Falle von einem mit nur alkalischer Kochsalzlösung beschickten Herzen erhalten wird.

Ein anderes Experiment wurde der Erforschung des Einflusses von Kaliumsalz auf das Arbeitsresultat gewidmet. Das Herz wurde während der Präparation mit vollständiger Salzflüssigkeit ausgespült und dann in die Leitung eingefügt, um mit Serumsalzflüssigkeit zu arbeiten, die des Kaliumsalzes beraubt war.

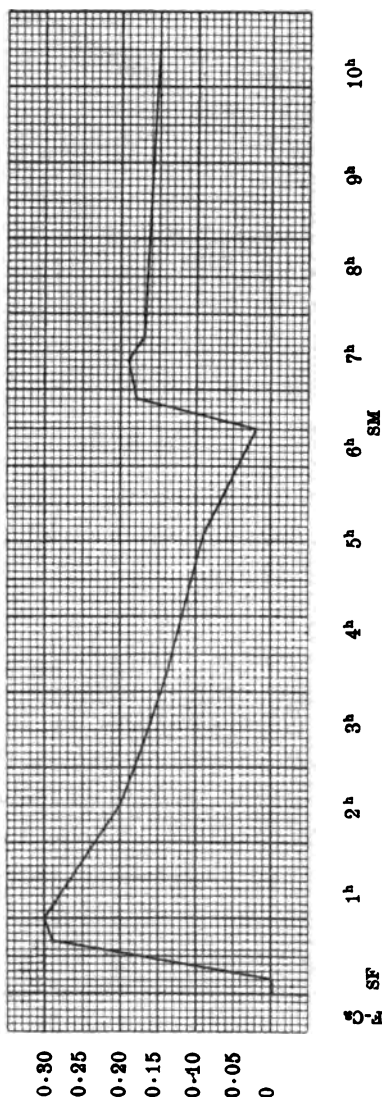
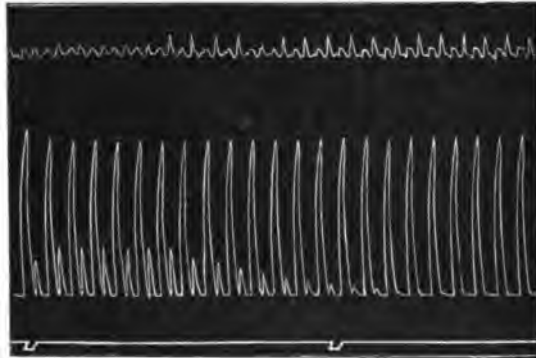
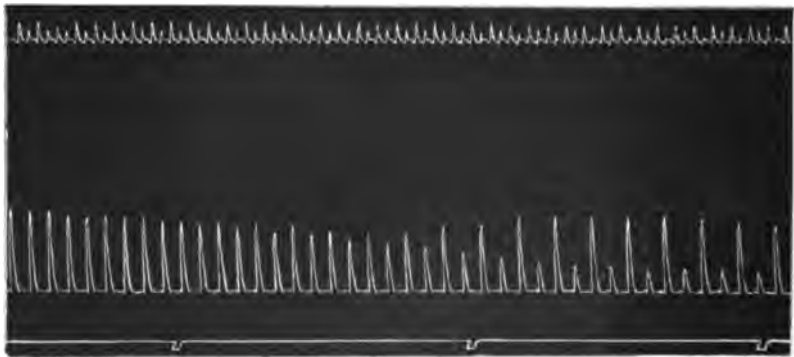


Fig. 4. Curve, die Wechselungen des Pulsolumens in dem Fig. 3 angeführten Experiment veranschaulicht. Die primäre, Ca-freie Flüssigkeit (SF-Ca) wird bei SF gegen die CaCl_2 -haltige vertauscht. Bei SM wird diese in ihrer Ordnung von Serummischung (1 Theil Serum und 3 Theile 0.7 Proc. NaCl -Lösung) ersetzt. Die Ordinate giebt das Pulsolumen in Cub.-Centimetern an (Einheit 0.1 cm^3), die Abscisse die Zeit in Stunden (Einheit 5 Minuten).

Nach einer irregulären Arbeit von circa 5 Minuten, während welcher eine Tendenz zum Ausbleiben jedes 4. Kammerschlages zu bemerken ist, wird (Fig. 5 *A*) regelmässig jeder zweite Kammerschlag geringer und ist nach 2 Minuten auf 0 reducirt. Die Frequenz der Kammerschläge

Fig. 5 *A*.

ist auf diese Weise halbirt worden. Nach weiteren 13 Minuten beginnt von den rückständigen Kammerschlägen jeder zweite allmählich abzunehmen (Fig. 5 *B*) gegen ein Minimum, welches nach 6 Minuten erreicht ist. Sowohl während dieser 6 Minuten, wie während der

Fig. 5 *B*.

folgenden 17 Minuten (Fig. 5 *C*) wechseln regelrecht ein grösserer und ein kleinerer Ventrikelschlag ab, wobei doch der Unterschied allmählich durch fortschreitende Verminderung des grösseren ausgeglichen wird. Nach ferneren 8 Minuten hat die Herzarbeit an Festigkeit gewonnen (Fig. 5 *D*) unter Anzeigung einer Vorhofs-frequenz von 32,

einer Kammerfrequenz von 16 gleich grossen Schlägen in der Minute. Das Herz ist stark der Systole genähert und der diastolische Act äusserst unvollständig. Allmählich wird dann eine Flüssigkeit hinein-

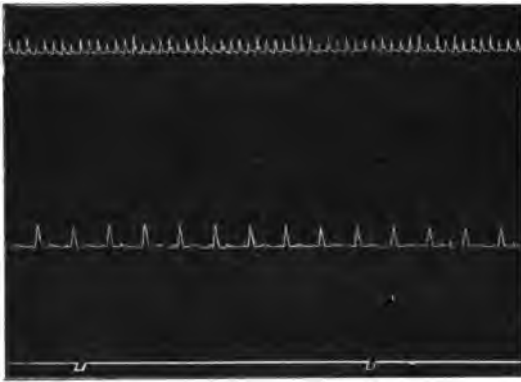


Fig. 5 C.

geleitet, welche neben den vorherigen Salzen KCl zu 0.01 Proc. enthält. Binnen 3 Minuten hat die Kammer ihre Frequenz verdoppelt, so dass sie den Vorhofsschlägen folgt (Fig. 5 E). Das Herz, welches

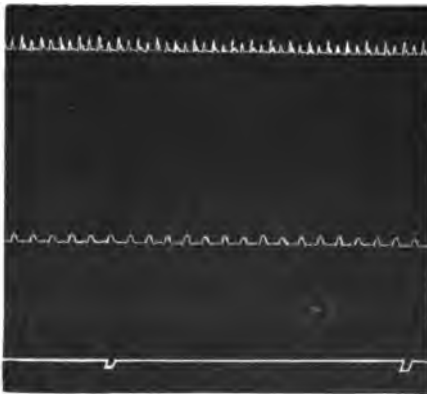


Fig. 5 D.

eine Zeit lang ohne Flüssigkeitsverpflanzung gearbeitet hat, zeigt nach 10 Min. ein Pulsvolumen von 0.13 cm^3 , und nach weiteren 35 Min. ein solches von 0.30 cm^3 (Fig. 5 F), und geht zwischen zwei auf einander folgenden Systolen in vollständige Diastole über.

Um einen Einblick in die wirkliche Natur der uncompensirten Calciumwirkung zu erhalten, welche sich in oben beschriebener Weise

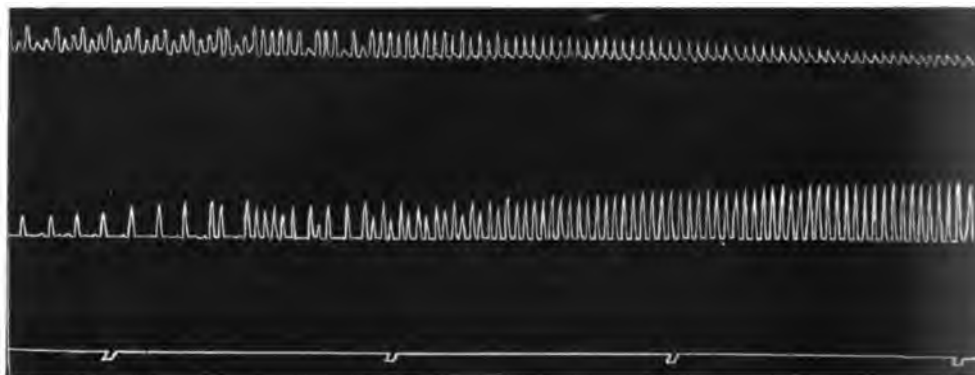


Fig. 5E.

auf das ganze Organ äussert, waren Controlversuche an der isolirten Herzspitze nöthig, welche, weil ganglienfrei, nach der allgemeinen Ansicht nicht unter dem directen Einflusse von nervösen Elementen

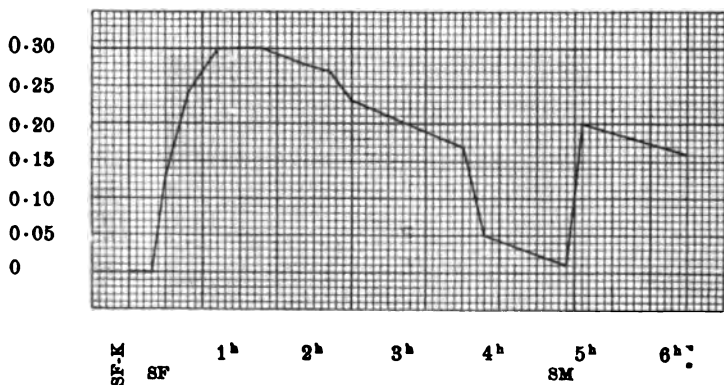


Fig. 5F.

Fig. 5. Curve, die Variationen im Pulsvolumen während desselben Experimentes wiedergebend, welchem die Figg. 5 A bis E entnommen sind. Das Herz arbeitet erst (SF-K) mit einer Lösung, enthaltend 0.65 Proc. NaCl, 0.1 Proc. NaHCO_3 , 0.0065 Proc. CaCl_2 . Bei SF wird sie gegen eine neue vertauscht, gleichfalls 0.01 Proc. KCl enthaltend. Bei SM wird Serummischung hineingeleitet.

steht. Die reine Muskelwirkung dürfte also beobachtet werden können, wenn man nur die Impulse von elektrischen Reizen besorgen lässt, deren Stärke und Frequenz nach den Umständen abzustimmen man in

der Gewalt hat. Während eines solchen Versuches ist es desto notwendiger, zugleich die Anforderungen des Herzens auf Alkalescentz der Salzflüssigkeit zu berücksichtigen, da es sich vorher gezeigt hat, dass die Excursionsweite anderen Falles geringer und dadurch ein neuer Faktor eingeführt wird, welcher dahin neigt, die Zuckungcurve zu verändern, und den Schluss auf die spezifische Wirkung des Calciumsalzes erschwert. Da diese, nach dem vorhergehenden Versuche zu urtheilen, durch die Anwesenheit von Kaliumsalz maskirt wird, sollte das Experiment also die durch Ausschliessung des Kaliumsalzes einseitig ausgeprägten Calciumwirkungen auf den ganglienfreien Muskel feststellen.

Zu diesem Zwecke wurde eine abgeschnürte, von Blut möglichst befreite Herzspitze veranlasst, ununterbrochen (Frequenz 21) mit KCl-freier Salzflüssigkeit zu arbeiten. Als 1^h 15' verflossen waren, während welcher Zeit drei Durchspülungen von ein paar Minuten Dauer vorgenommen waren, wurde die Manometercurve von einem einzelnen Pulsschlag gemessen. Dieselbe erstreckte sich über einen Zeitraum von 2.2 Secunden und hatte ihren Gipfel 6^{mm} oberhalb der Abscisse und 1.4 Secunden vom Beginn der Contraction erreicht. Unmittelbar darauf wurde Flüssigkeit, versetzt mit 0.01 Proc. KCl, hineingeleitet und die Zuckungcurve 12 Minuten nach dem Umtausch wieder gemessen. Dieselbe entsprach dann einer Zeit von 1.7 Sec.; der Gipfel lag 0.8 Sec. von Beginn der Pulsperiode und erhob sich 10.5^{mm} über der Abscisse. Aus dem Versuche geht hervor, dass die Pulsperiode unter dem Einflusse von Kalimangel verlängert wird, während die Excursionsweite abnimmt, und zwar so, dass die Abscisse ihre Lage im Verhältniss zum Gipfel ändert, welcher in beiden Fällen, wie dies auch die unmittelbare Inspection ergab, einer vollständigen Zusammenziehung entsprach. Die Ziffern zeigen deutlich, dass bei Anwesenheit einer physiologischen Calciummenge die Abwesenheit von Kalium die Pulsperiode verlängert, nicht zum Mindesten deren systolische Phase, eher als sie besonders die Diastole verzögert, welcher letzteren Schluss Ringer (10) aus Experimenten mit neutraler Flüssigkeit an der in der Atrioventrikulargrenze abgeschnürten Kammer gezogen hat.

Wir erinnern uns nun an den Verlauf bei der Arbeit des spontan thätigen Herzens mit kaliumfreier Flüssigkeit. Das Stadium der uncompensirten Ca-Wirkung lässt sich dort kurz als eine oscillatorische Näherung an systolischen Krampf charakterisiren, der indess nicht vollständiger wird, als dass man noch auf dessen Kulminationspunkt bestimmte, wenn auch sehr kleine Contractionen unterscheiden

kann.¹ Die Veränderungen in der Frequenz der Kammerschläge deuten an, wenn man sie mit den eben an der Herzspitze erhaltenen Resultaten zusammenstellt, dass mit fortschreitender Elimination des Kaliumsalzes die Pulsperiode der Kammer allmählich verlängert wird und in immer grösseres Missverhältniss zu den mit unverändertem Intervall fortgehenden Reizungen geräth. Der Mangel an Coordination zwischen Vorhof und Kammer, welche Störung endlich in regelrechter Weise stationär wird, scheint ihren Grund darin zu haben, dass die Pulsperiode bei der Vorhofsmusculatur nicht in entsprechendem Grade verlängert wird. Der Wechsel in den Excursionen der Kammer, welche unter den obwaltenden Verhältnissen vollständig von dem Erschlaffungsgrade während der vorhergehenden Diastole abhängen, dürften am einfachsten so zu erklären sein, dass die Impulse in Folge der Verschiebung zwischen Pulsperiode und Reizungsintervall auf verschiedenen Punkten der Ausdehnungsphase angreifen. Die Wiederherstellung eines geeigneten Kaliumgehaltes bei der Flüssigkeit begrenzt die Pulsperiode der Kammernusculatur auf ihre normalen Dimensionen, so dass vollständige Diastolen vor der nächsten Reizung erfolgen können; damit kehrt die Möglichkeit wieder, auf jeden Impuls zu respondiren, und das mit vollständigen, gleich grossen Schlägen zu thun.

Sowohl betreffend das ganze Herz, wie dessen ganglienfreie Musculatur ist also dargethan, dass die Menge Calciumsalz, mit welcher sie eine normale Arbeit ausführen können, sofern gleichzeitig Kaliumsalze vorhanden sind, im entgegengesetzten Falle dieselben in einen Zustand versetzt, wo die Bedingungen der Contraction in höherem Grade als sonst erfüllt zu sein scheinen, während die Wirkung der ausdehnenden Kräfte nicht in entsprechendem Grade verstärkt wird.

c) Erörterung des Verhaltens der Ca- und K-Radikale zu den inneren Processen bei der Function des Herzmuskels.

Obgleich eine Erklärung dieses eigenthümlichen Umstandes bei der unvollständigen Kenntniss, die wir von allen subtileren Processen bei der Muskelcontraction haben, äusserst schwierig ist, scheint ein Versuch, dieselbe unter generellere Gesetze zu bringen, nicht ohne Be-

¹ Die Figg. 5A bis E geben in Folge der Unvollkommenheit in der Registrationsanordnung kein ganz übersichtliches Bild von dem Verlauf, weil die Manometercurve auch bei den äusserst unvollständigen Diastolen zu der Abscisse hinuntersinken kann. Was man eigentlich übersieht, ist also die Stärke der Herzsystolen, ausgegangen von einer für verschiedene Grade von Diastole gemeinsamen Abscisse.

rechti gung zu sein. Wir gehen dabei von der Thatsache aus, dass dann, wenn Stromfluctuationen von hinreichender Stärke und Schnelligkeit in dem functionell intacten Muskel erfolgen, in diesem eine Contraction ausgelöst wird. Nun ist die Muskelcontraction — darüber dürfte nur eine Meinung herrschen — ihrer Natur nach ein mechanischer Act, entstanden auf der Grundlage eines chemischen Processes. Der Verlauf zwischen der elektrischen Reizung und der vollendeten Contraction muss deshalb zwei nach Art und Inhalt ganz verschiedene Processe enthalten: einen, wodurch der elektrische Impuls einen chemischen Verlauf auslöst, wie einen anderen, wodurch der chemische Verlauf in einem mechanischen Effect resultirt, d. h. sich in einer Muskelcontraction zu erkennen giebt. Zur Erklärung des letztgenannten Actes sind die detaillirtesten Hypothesen aufgestellt worden; es ist daher um so befremdender, dass der ersten Frage verhältnissmässig so wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden ist.

Wenn eine elektrische Stromfluctuation, welche den Muskel durch-eilt, functionelle Umwälzungen in dessen ganzer Ausdehnung bewirkt, so kann dies vom Standpunkte einer energetischen Anschauung nicht anders gedeutet werden, als dass ein Theil der elektrokinetischen Energie in andere Kräfte transformirt wird, welche den chemisch-mechanischen Folgen der Reizung zu Grunde liegen. Nun wird jede solche Transformation verhindert, wenn der Muskel die Energie des elektrischen Stromes unverändert hindurchliesse. Es muss also ein gewisser Grad von Widerstand im Muskel vorausgesetzt werden, der so localisirt ist, dass die in neuer Form auftretende Energie nicht einem kleinen Gebiete, sondern jeder functionellen Einheit innerhalb der Zelle zu gute kommt. Stellen wir uns nun dergleichen Widerstände vor, angebracht in den Muskelzellen bzw. deren longitudinellen Elementen in mit bestimmten Intervallen wiederkehrenden Quersegmenten, so müssen die Verhältnisse in und bei diesen Quersegmenten für eine Transformation der Energie besonders günstig sein.

Wie aber ist die Entstehung von Leitungshindernissen im Muskel zu erklären? Die Leitfähigkeit eines lebenden Gewebes ist wesentlich eine Function der elektrolytischen Zustände seiner Salze. Ein Hinderniss für die Fortleitung des Stromes durch den Muskel muss daher nach der Anschauung der elektrolytischen Dissociationstheorie über die Natur des Stromes in der Hauptsache gleichbedeutend sein mit einem Hinderniss für die Wanderungen der einzelnen Ionen. Dadurch, dass wir den erwähnten Quersegmenten eine gewisse Widerstandsquantität zuerkennen, und zwar derart, dass jene während des fortgehenden Stromes eine Arretirung gewisser Ionen bedingen, sind in der That nur die Vor-

aussetzungen für die Localisirung des Leitungswiderstandes genauer präcisiert worden. Für ein Verständniss der Natur der der Arretirung unterworfenen Ionen müssen die angeführten experimentellen Resultate bestimmend werden. Da diese nun unzweideutig zeigen, dass die Ca-Salze ganz besonders nöthig für die durch Reizung ausgelöste Phasenveränderung, die Systole, sind, wollen wir, vorläufig ohne einen anderen Grund, die Annahme wagen, dass der Widerstand von für Ca-Ionen impermeablen Quersegmenten¹ verursacht wird. In demjenigen Augenblick, wo ein elektrischer Strom von genügender Dichtigkeit durch den Muskel geschlossen wird, werden die Ca-Ionen nach der Oberfläche der genannten Septa orientirt und bilden dort eine elektropositive Schicht. Verhielte sich nun die Substanz im Septum den Ca-Ionen gegenüber als ein Dielektricum, und ginge sie ohne Unterbrechung in ein gleichartig dielektrisches, die Zelle bekleidendes Mantel-lager über, so tritt im Orientirungsaugenblicke eine dielektrische Verschiebung ein, welche, vorausgesetzt, dass die Dicke des Sepiments verschwindend ist, dieses unter peripherischer Verschiebung der positiven Elektrizität in correspondirendem Grade elektronegativ macht. Nun ist indess bekannt, dass unter dem Einflusse einer schnell wachsenden oder schnell sinkenden dielektrischen Polarisation Atomumlagerungen in stabilen neutralen Systemen geschehen können. So kann bei der Entladung eines Conductors ein Theil der Sauerstoffmolecüle des angrenzenden Luftlagers in Ozonmolecüle übergehen, also in ein System von grösserer Labilität. Es ist denkbar, dass in den Muskelzellen unter dem Einflusse einer schnell eintretenden Ionenarretirung ähnliche Fluctuationen des Potentials in den elektrolytischen bzw. dielektrischen Systemen eine gleichartige Auflockerung der Bindungen erzeugen, mit anderen Worten chemische Processe auslösen können, welche für ihre Entstehung einen Zuschuss von Energie verlangen, dann aber unter Umsetzung einer grösseren Energiemenge verlaufen.

Wenn sich nun unter den intracellulären Kationen zugleich einige fänden, welche durch den ganzen Inhalt des Zellkörpers der Stromrichtung folgen, bzw. den Strom fortleiten können, so ist es offenbar, dass in demselben Maasse, wie deren Concentration gross ist, das Hinderniss, welches der Fortleitung des Stromes entgegengesetzt wird in Folge des eigenartigen Verhaltens der Ca-Ionen, unwesentlich wird.

¹ Wenn hier und im Folgenden von einer Impermeabilität für gewisse Ionen gesprochen wird, so wird dabei nicht in Abrede gestellt, dass sie während eines hinreichenden Zeitraums durchdringen können; nur wird vorausgesetzt, dass ihre Wanderungsgeschwindigkeit an jenen Quersegmenten ausserordentlich beeinträchtigt wird.

Unter der Annahme, dass die K-Ionen zu dieser Kategorie gehören und einen quantitativ bedeutenden Theil davon repräsentiren, erhält man eine dem Anscheine nach befriedigende Erklärung auch von dem Verhalten der Kaliumsalze zur Herzarbeit.

Wenn eine mit dem Gewebe isotonische KCl-Lösung den Herzmuskel lähmt, sollte dieser Umstand also vom physikalischen Standpunkte aus bedeuten, dass die Anzahl der frei beweglichen K-Ionen dabei wächst, wesentlich auf Kosten der Ca-Ionen, in einer Weise, welche die Voraussetzung für einen localen Effect des Impulses zu nichte macht. Eine physikalisch gleichartige NaCl-Lösung verhält sich indess physiologisch abweichend, denn obgleich auch deren Einwirkung auf des Herz ihrem Wesen nach eine langsam fortschreitende Lähmung ist, so waltet doch ein bedeutender Unterschied bezüglich der für das Schwinden der Reaction erforderlichen Zeit vor. Wir sind also genöthigt, einen Unterschied zwischen den Na- und K-Ionen in deren Verhalten zum Muskel anzunehmen. Der Unterschied soll nach den Voraussetzungen, von welchen wir ausgegangen sind, in einem verschiedenen Antheil dieser Ionen in der Fähigkeit der Zelle den elektrischen Strom fortzuleiten, bestehen. Nun zeugen die meisten Analysen davon, dass Serum und Lymphe, wie die thierischen Säfte überhaupt, arm an Kalium, aber reich an Natrium sind. Die Muskeln aber erweisen sich reich an Kalium, dagegen arm an Natrium. Es ist also klar, dass die Muskelzelle während des Lebens durch selectiv wirksame Kräfte sich aus der spärlichen Zufuhr von Kali einen grossen Vorrath, von dem in reichlicher Menge zu erhaltenden Natron nur einen geringen Vorrath bereitet, oder mit anderen Worten, die Muskelzelle nimmt, figürlich gesprochen, mit grösserer Begehrlichkeit Kalium auf und behält es auch fester als Natrium. Wenn sich die Vertheilung aber nach diesen Gesetzen in dem intacten Organismus gestaltet, so ist die grösste Wahrscheinlichkeit vorhanden, dass dieselben Gesetze die Wechselwirkung des überlebenden Herzmuskels mit einer dem Serum oder der Lymphe entsprechenden Salzlösung bestimmen. Das Kalium dürfte also unter den Elektrolyten in der Zelle eine ganz andere und wesentlichere Rolle als in der Gewebsflüssigkeit ausserhalb der Zelle spielen können, und es ist die Verschiedenheit in der Permeabilität, welche vor Allem bestimmt, dass äquivalente Lösungen von zwei einander so nahestehenden Elektrolyten wie KCl und NaCl Wirkungen von verschiedener Intensität in der Zelle erzeugen, ein Umstand, der, wie man vermuthet, von einer „Giftwirkung“ des Kaliums zeugt.

Wir erinnern uns, dass eine Flüssigkeit ohne Kalium, aber eine

physiologische Calciummenge enthaltend, die Pulsperiode verlängert. Die Ursache dazu ist zunächst in einer Verschiebung der Vertheilung der Elektrolyten nach den diosmotischen Gesetzen zu suchen, welche in dem äusseren Grenzlager der Zellen herrschen. Nicht nur, dass ein für die Zelle fortschreitender Verlust von Kalium an die umgebende kaliumfreie Salzflüssigkeit stattfindet; der Verlust muss compensirt werden, und dies geschieht zum Theil durch erhöhte Aufnahme von Calcium. Beide Processe tragen dazu bei, den Widerstand gegen die Fortpflanzung des Stromes durch den Muskel zu erhöhen und als Folge davon bei gegebener Stromintensität die assimilatorische Reizung zu vermehren. Davon die erhöhte Tendenz zu einer systolischen Lage, welche, da die Angriffe seitens der dilatatorischen Kräfte unverändert bleiben, leicht als erschwerte Diastole gedeutet wird. Ein Zusatz von Kalium in geeigneter Menge reducirt das Leitungshinderniss auf die gebührlchen Dimensionen, mindert die Stärke der Verbrennung, deren Abhängigkeit von dem Leitungswiderstande wir als selbstverständlich vorausgesetzt, und stellt dadurch das Gleichgewicht zwischen der Verbrennung selbst und den ihre Folgen aus dem Wege räumenden Faktoren wieder her.

Zum Schluss, sobald die Calciumsalze des Herzmuskels an die Umgebung verloren gehen, tritt ein Zustand ein, wo zuerst die Kraft continuirlich ermattet und zuletzt, wenn die physikalische Unterlage für die Effectivirung des Reizes fehlt, die Reizbarkeit verschwindet.¹

Ein Einwand, welcher gewiss gegen die aufgestellte Erklärung vorgebracht wird, ist der, dass diese den Calciumsalzen eine so wesentliche Rolle zuertheilt, dass eine normale Herzbewegung ohne sie nicht möglich ist. Nun scheint diese Annahme anfänglich von mehreren allgemein bekannten Umständen in glänzender Weise widerlegt zu sein. Weit entfernt davon, dass die Nothwendigkeit des Calciumsalzes für die Muskelfunction sich augenblicklich zu erkennen giebt, erforderte es besondere Sorgfalt, um dessen günstige Wirkung überhaupt nachweisen zu können, und Mancher stellt nicht einmal diese ausser allem Zweifel. Man hat ja schon längst gefunden, dass das Herz eine Zeit lang fungirt, gespeist mit reiner Kochsalzlösung, ja dass es, nachdem es seine Irritabilität in dieser Lösung verloren hat, durch Alkali-

¹ Eine ähnliche Ursache bin ich geneigt, den Ermüdungserscheinungen, die in Folge protrahirter Arbeit, zumal bei gleichzeitig ungenügender Circulation und Sauerstoffzufuhr auftreten, zu Grunde zu legen, und zwar würde die Säurebildung, welche den dissimilatorischen Process begleitet, die Anzahl der mit grosser Geschwindigkeit ausgestatteten Wasserstoffionen vermehren, demnach unter den Kationen die Procentanzahl Ca-Ionen herabsetzen.

zufuhr zu erneuter Function erweckt werden kann. Indess, wenn das Herz bei guter Durchspülung mit NaCl-Lösung dennoch die Fähigkeit zeigt, eine Zeit lang zu functioniren, so ist dies eine Folge von unter Anderem dem Umstande, dass eine gewisse Zeit erforderlich ist, bis die löslichen Calciumsalze durch Diosmose vollständig entfernt sind. Es ist von diesem Gesichtspunkte aus eher trotz, als in Folge der Anwesenheit der Kochsalzlösung, dass die Reizbarkeit eine Zeit lang erhalten bleibt. Die Reizbarkeit kehrt aber bei Zufuhr von activem Alkali zurück, und die Ausschläge können zur normalen Höhe anwachsen. Ist nicht dieser Umstand ein Beweis dafür, dass das Herz ohne Calciumsalz arbeiten kann? Wir müssen bei näherer Prüfung bestreiten, dass dies der Fall ist, und zwar aus den folgenden Gründen. In der Zelle ist das Calcium wahrscheinlich sowohl als disponibler Elektrolyt vorhanden, als auch in Combinationen von nicht dissociirter Natur, in Combinationen, welche von der hauptsächlich auf osmotischem Wege wirksamen NaCl-Lösung nicht gestört werden. Wird diese aber mit Alkali versetzt, so wird das Verhältniss ein anderes. Unter dem Einflusse der reactionsfähigen Radikale wird das gebundene Calcium zum Theil aus seinen Verbindungen gelöst. Die dabei freigemachten Ca-Radikale sind nunmehr Elektrolyten. Allmählich werden diese indess durch Diosmose mit der calciumfreien Circulationsflüssigkeit eliminirt, und es würde bald Mangel entstehen, wenn nicht die Verminderung selbst in Folge des diosmotischen Austausches es mit sich brächte, dass neue je nach dem Vorrath durch Massenwirkung freigemacht werden. Zwei Processe greifen also mit dem Resultat in einander, dass eine Zeit lang eine gewisse Menge Calciumionen in der Zelle anwesend sind. Wenn das active Alkali (das Hydroxyd, in niedrigerem Grade das Carbonat) ein in NaCl-Lösung geschwächtes Herz rehabilitirt, liegt also nicht nur eine directe Wirkung der wieder hergestellten Alkalescentz vor, sondern auch das Resultat von der Freimachung der Ca-Radikale durch Massenwirkung. Einerseits werden wir also zu einer von Gaule's theilweise abweichenden Auffassung von den Ursachen zur Restauration durch Alkali gebracht, andererseits erscheint nunmehr die Ueberlegenheit des Hydroxydes über das Carbonat und Bicarbonat in einem anderen Lichte.

Von der Hypothese ausgehend, dass die Wanderungen der K-Ionen innerhalb der Zelle frei, die der Ca-Ionen dagegen auf ein Gebiet zwischen zwei für sie impermeablen¹ Septa beschränkt sind, ist es uns möglich gewesen, die im Vorstehenden experimentell festgestellten Phänomene unter einen einheitlichen Gesichtspunkt zu bringen. Sollte

¹ Vgl. Fussnote S. 26.

durch fortgesetzte, vor Allem auf die Bestimmung der Leitungsfähigkeit des Muskels unter verschiedenen Salzregimen gerichtete Studien sich die Annahme in Bezug auf das angewandte Versuchsobject als haltbar erweisen und dasselbe Verhältniss bei comparativen Prüfungen sich bei anderen Formen der Musculatur wiederfinden, so würde dadurch ein tieferer Einblick in das eine oder andere bislang dunkle Phänomen in der Muskelphysiologie gewonnen werden. So würden Variationen in der Menge der K- und Ca-Ionen unter einander im Verein mit Variationen der Entfernung zwischen den semipermeablen Quersegmenten erklären können, weshalb einige Muskeln sich langsam, andere schnell contrahiren. In der That findet man schon beim Vergleich zwischen der Zuckungscurve eines Herzmuskels unter Kaliumkarenz und der eines trägen Muskels unter normalen Verhältnissen eine schlagende Formgleichheit.

Es dürfte auch auseinandergesetzt zu werden verdienen, wie man mit der Annahme einer Ionenarretirung als Ausgangspunkt den Ursprung der Negativitätswelle zu erklären hat, welche die Reizung begleitet und deren Auftreten im Herzmuskel des Frosches von Burdon-Sanderson und Page¹ festgestellt worden ist. Man denke sich, dass im Reizungsmomente eine Schicht elektropositiv geladener Ca-Ionen gegen die Oberfläche eines Sepimentes arretirt wird, das dadurch in einen Zustand von dielektrischer Polarisation geräth. Zunächst der von Ca-Ionen belegten Oberfläche entsteht nach der traditionellen Ausdrucksweise der Symmer'schen Anschauung eine ungleichnamige, elektronegative Ladung, während die gleichnamige Elektrizität in Folge der geringen Dicke des Sepimentes peripherisch verschoben wird, d. h. hinaus in das Mantellager der entsprechenden Zelle, dessen Aufbau von einer ähnlichen dielektrischen Substanz man wohl voraussetzen darf.² Hieraus folgt, unter der Annahme, dass der Muskel intakt und parallelfaserig ist, dass auf dessen Oberfläche das niedrigste Potential (die grösste negative Ladung) sich mitten gegenüber dem in der Reizung begriffenen Gebiete befindet, das höchste Potential (die grösste positive Ladung) in einiger Entfernung davon im ruhenden Gebiete. Bei Anlegung der gebräuchlichen Elektroden auf ruhendem und gereiztem Muskelterritorium wird also auf der letzteren Berührungsstelle eine elektromotorische Kraft mit positiver Richtung von der Elektrode nach der Muskeloberfläche erzeugt, auf der ersteren dagegen eine elektromotorische Kraft in umgekehrter Richtung. In der äusseren

¹ *Journal of Physiology*. Vol. 2 u. 4.

² Diese Frage wird vom Verf. in einer folgenden Arbeit eingehender behandelt werden.

Bahn entsteht dann infolge der Ionenentladung von den feuchten Elektroden nach dem dort befindlichen Leiter erster Ordnung ein Strom von positiver Elektricität von dem ruhenden zum gereizten Muskelgebiete. Die Negativitätswelle wäre also als der sichtbare Ausdruck für eine unter dem Einflusse des Impulses entstandene dielektrische Verschiebung in einem von den beschriebenen Strukturformationen gebildeten System aufzufassen. (Verf. hofft in kurzer Zeit die Gründe darlegen zu können, die für einen ähnlichen Bau der Nervenfasern sprechen, d. h. für das Dasein eines dielektrischen und eines elektrolytischen Systems, die beide an der Fortpflanzung der Actionswelle theilnehmen.)

Die Fortpflanzung der Reizung innerhalb der Zelle wird, gestützt auf die Annahme einer Ionenarretirung, nach folgenden Principien erklärt. Sobald unter dem Einflusse einer adäquaten Reizung des Nerven oder eines experimentell entstandenen schnellen Potentialwechsels in negativer Richtung an einer Stelle, z. B. in der Nähe des Aequators, eine Erregung stattgefunden hat, d. h. Ca-Ionen nach der Oberfläche hin von den dem Angriffspunkte der Reizung am nächsten gelegenen Sepimenten orientirt worden sind und durch dielektrische Polarisirung ein negatives Potential innerhalb dieser Sepimente aufgewachsen ist, so tendirt dieser Reizungszustand dahin, sich nach den beiden Polen der Muskelzellen hin, und zwar aus den folgenden Gründen fortzupflanzen.

In Folge des Angriffes der Reizung auf der Reizstelle tritt in dem dielektrischen System der Muskelzelle (Sepimente und Mantellager) eine Verschiebung ein, welche das Mantellager und die Sepimente auf beiden Seiten des Erregungsgebietes schwächer negativ, bzw. stärker positiv als in der erregten Zone geladen macht. In Folge dessen entsteht eine elektromotorische Kraft, welche danach strebt, die Ca-Ionen wie andere Kationen in der Richtung von dem höheren nach dem niedrigeren Potential zu verlegen, d. h. von den Polen nach dem gereizten äquatorialen Gebiet. Indem diese Verschiebung stattfindet, schreiten die Erregungswellen gegen die Pole fort, einen steten Wechsel des Polarisationszustandes schaffend. Der Grund dazu, dass die Erregung am Pole nicht recurrent wird, ist wahrscheinlich der, dass die Ca-Ionen in den vom intracellulären Strome zuletzt durchlaufenen Intervallen noch von der Reizung aus der entgegengesetzten Richtung orientirt sind, und dass, wie leicht einzusehen, grössere Kraft erfordert wird, um dieselben von dieser extremen Lage nach der entgegengesetzten zu orientiren, als wenn sie im Intervalle gleichmässig vertheilt wären, wie dass endlich die orientirende Kraft, welche in Folge des Polarisationszustandes noch

existirt, unter allen Umständen zu schwach ist, die Reizungswelle allein zu reflectiren. Die dielektrische Polarisirung strebt dann aus eigener Kraft nach Ausgleichung; die an den Polen befindlichen Sepimente, welche zuletzt gereizt gewesen sind, nähern sich vom negativen Potential direct der neutralen Lage, während diejenigen in den äquatorialen Gebieten der Zelle, welche zuvor positives Potential hätten annehmen müssen, nun mit Aufhebung der Reizung danach streben, ihre Neutralität wieder anzunehmen. Dabei verschwinden die Kräfte, welche die Ca-Ionen orientirt haben; diese kehren zu einer disseminirten Ausbreitung zurück, und es tritt Ruhezustand ein.

Die principielle Bedeutung der angeführten Auseinandersetzungen machen es wünschenswerth trotz der Knappheit des Materiales, unter Heranziehung der Thatsachen, welche vorgebracht werden können, die Voraussetzungen unserer Annahme näher zu prüfen.

Die Struktur des Froschherzmuskels zeigt eine für die optischen Hilfsmittel ziemlich markirte Querstreifigkeit und spricht insofern direct für die Annahme von Quersegmenten verschiedener physikalischer Eigenschaften. Andererseits ist zu bemerken, dass eine Theilung der Muskelzelle in Gebieten von verschiedener Permeabilität kaum eine gleichzeitige Theilung in Gebieten von verschiedener Brechbarkeit voraussetzt.

Von grösstem Interesse ist die Frage, ob man überhaupt Substanzen kennt, welche in Uebereinstimmung mit der Annahme von den Septa der Muskelzellen für Ionen einer Qualität impermeabel, für andere aber permeabel sind, und zwar besonders, wenn solche Substanzen im Thierreiche vorkommen. So scheint es wirklich der Fall zu sein. Traube¹ fand, dass die auf der Grenzfläche zwischen einer Lösung von Kupferacetat und einer von Ferrocyankalium entstehende membranöse Fällung für Wasser permeabel ist, nicht aber für verschiedene darin gelöste Salze. Später betonte Ostwald (12), dass bezüglich solcher semipermeabler Membranen keine verschiedene Permeabilität für die Salze als solche, sondern für die den Salzen entsprechenden elektrolitischen Dissociationsproducte, die Ionen, vorauszusetzen sei. Gegen diese Auffassung hat allerdings Tammann (15) erwidert, dass in einer Anzahl von ihm ausgeführter Experimente keines von den Radikalen eines Salzes passirt hat, trotzdem es sich gezeigt hat, dass entsprechende Ionen bei Controlversuchen hervordringen können, wenn sie aus einer anderen Verbindung dissociirt worden sind. Indess ist es von Ostwald experimentell nachgewiesen, dass eine Membran für

¹ M. Traube, Experimente zur Theorie der Zellenbildung und Endosmose. *Arch. f. Anat., Physiol. u. wiss. Med.* 1867. S. 87.

die eine Ione eines binären Systemes impermeabel, für die andere aber unter gewissen Bedingungen permeabel sein kann. Als eine Membran dieser Art erwies sich die obengenannte, welche SO_4 und K, nicht aber Cu und $\text{Fe}(\text{CN})_6$ durchlässt.

Indess sind Beweise für die Anwesenheit von semipermeablen lebenden Zelltheilen wünschenswerth. Aber ebenso natürlich wie es ist, dass die allgemeinen Gesetze für die Wanderungen der Elektrolyten von einem Medium zum anderen Geltung haben bei der Wanderung der unorganischen Radikale durch die Zellenmembran, das Wandplasma u. s. w., ebenso schwer ist es, im Einzelnen den Verlauf eines solchen Processes festzustellen. Darauf ausgehende experimentelle Eingriffe sind zwar nicht ausgeschlossen, aber stets mit unvermeidlichen Fehlerquellen behaftet. Ein solcher Einwand lässt sich dagegen nicht gegen diejenigen Resultate erheben, welche sich bei vergleichenden chemischen Analysen von zwei so relativ ohne Eingriffe isolirbaren Substraten wie den rothen Formelementen des Blutes und dem Plasma ergeben können. Von beiden liegen Analysen¹ vor, aus welchen hervorgeht, dass, während das Plasma zwar nicht bedeutende, für die Analyse aber vollkommen hinreichende Mengen Ca enthalten hat, von welchen ein Theil unzweifelhaft in dissociirter Form vorgekommen ist, bei den rothen Blutkörperchen von demselben Blute dieses Element gefehlt hat. Da die Blutkörperchen während des Lebens einem steten osmotischen Austausch mit dem Plasma unterworfen sind, muss ein Grenzlager oder vielleicht die ganze Substanz der rothen Blutkörperchen in diesen Fällen für Calciumionen impermeabel gewesen sein. Wir haben also ein Beispiel davon, dass eine lebende animale Membran Impermeabilität für eine gewisse Art von Ionen und, zu weiterer Gewissheit, gerade dieselbe Ionenart zeigen kann, von welcher die Annahme ursprünglich gemacht ist.

Die Wahrscheinlichkeit einer solchen Annahme kann also als erwiesen durch Analogien betrachtet werden, und der Verf. hat in derselben den Grund zur Erklärung folgender Beobachtung gesucht. Wenn ein Herz mit einer Salzflüssigkeit gespeist wird, deren Calciumgehalt derselbe ist wie in der für das Froschherz am besten abgepassten Blutmischung, die man hat (1 Theil Rinderblut und 2 Theile 0.7 proc. NaCl-Lösung), so tritt, wie vorher betont, früher oder später ein Stadium ein, wo die Energie des Herzens abnimmt. Wenn die Arbeit nichts destoweniger fortgehen darf, bis die absolute Capacitätsverän-

¹ Vgl. z. B. die von Bunge ausgeführte, in O. Hammarsten, *Lehrb. der physiologischen Chemie*. 3. Aufl. S. 145 citirte Analyse.

derung bei den Pulsschlägen auf $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ der ursprünglichen reducirt worden ist, so kann man dadurch, dass man den Calciumgehalt in geeignetem Grade (z. B. von 0.0065 Proc. auf 0.01 Proc.) erhöht, auch die Excursionsweite beim Herzen vergrössern (vgl. Fig. 6), so dass zuweilen optimale Pulsschläge wiederkehren und in jedem Falle ein bestimmtes Resultat von der Vermehrung der Calciummenge in Form von gesteigerter Arbeitsfähigkeit während nahezu einer Stunde zu Tage tritt. Das Versuchsergebnis schliesst allerdings nicht aus, dass Ca auf

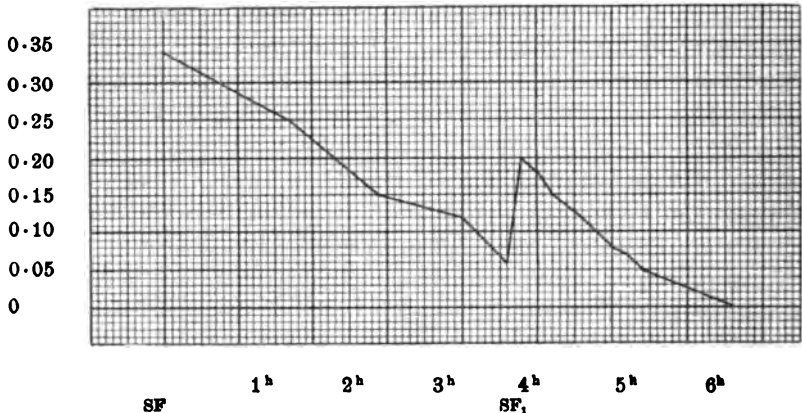


Fig. 6. Die Curve markirt die Wechselungen der Pulsschläge während eines Experimentes, wenn das Herz zuerst (SF) mit einer Flüssigkeit, enthaltend 0.65 Proc. NaCl, 0.1 Proc. NaHCO₃, 0.01 Proc. KCl, 0.0065 CaCl₂, gespeist wurde; später (SF₁) mit einer neuen Flüssigkeit, enthaltend weitere 0.0085 Proc. CaCl₂.

die Stärke der Contraction dadurch einwirkt, dass es z. B. im Contractionsaugenblicke zum Theil eine chemische Combination eingeht, es scheint aber bestimmt auszuschliessen, dass diese Wirkung in solchem Falle die einzige ist. Denn unter der Voraussetzung, dass dies der Fall wäre, gäbe es keinen Grund, weshalb eine, nach den Blutversuchen zu urtheilen, völlig hinreichende Calciummenge nicht während des ganzen Verlaufes des Versuches hinreichend bleiben sollte, da das für die Combination bestimmte Material wahrscheinlich allmählich verzehrt werden muss, möglicher Weise quantitativ unverändert bleiben, aber nicht an Menge zunehmen kann. Unter solchen Verhältnissen kann die Rolle des Ca-Salzes sich nicht darauf beschränken, die mechanische Transformation einer an den Kraftherden entwickelten chemischen Energie zu ermöglichen, sondern muss vielmehr darin bestehen, durch ihre Anwesenheit die Entstehung selbst aus dem Impulse

von der katabolisch wirksamen Reizung zu sichern und deren Stärke im Verhältniss zum Reizmittel zu bestimmen. Dann findet man es erklärlich, dass bei gleichförmiger Reizung¹ ein an spannkrafthaltigem Material nahezu entblöster Muskel ohne Zufuhr von neuer Spannkraft, nur durch Vermehrung der Ca-Menge für eine begrenzte Zeit seine Kraft wieder erhalten kann.

d) Phosphorsäure.

Betreffend das einzige noch übrige Salz, das Phosphat, hat nur beobachtet werden können, dass dessen Anwesenheit in der Regel die Arbeit des Herzens mit sonst geeignet abgepasster Salzlösung um etwas verlängert. Hinzuzufügen ist noch, dass die Phosphatmenge mit der peinlichsten Genauigkeit gewählt worden ist, nur um ja gleichartige und vergleichbare Verhältnisse mit denen in der Blutmischung zu garantiren, und dass diese innerhalb recht weiter Grenzen anders gewählt werden kann, sofern man es nur vermeidet, das Verhältniss zwischen Di- und Monophosphat zu stören.

C. Ueber die Viscosität des Blutes, die rothen Blutkörperchen und das Hämoglobin.

Trotzdem das Herz, wie bereits eine Menge Experimente gezeigt haben, mit einer Lösung von Serumsalzen eine recht bedeutende mechanische Arbeit ausführt, sind doch die Resultate, welche mit Blutmischung erhalten werden, so unverhältnissmässig überlegen, dass man den Unterschied nicht ohne die Annahme erklären kann, dass das Blut durch andere Eigenschaften als die günstige Vertheilung seiner Salze auf die Herzarbeit influirt.

Albanese (16) hat glaubhaft machen wollen, dass die Ueberlegenheit der Blutmischung nicht von einem Gehalt an assimilablen Substanzen, sondern von deren Viscosität und Reichthum an Sauerstoff, also von Eigenschaften herrühren soll, deren Einfluss man experimentell prüfen kann, ohne zum Blut zu greifen. Indess ist die Viscosität, welche ohne Zweifel zu einem verstärkten und verlängerten Arbeitsergebniss beitragen kann, von Albanese in einer Weise zum Hauptmoment gemacht worden, welche die Gefahr vor Missverständ-

¹ Das Experiment kann mit demselben Resultat an einer abgeschnürten Herzspitze ausgeführt werden, obgleich die Dauer des Effectes in diesem Falle nicht näher untersucht worden ist.

nissen zu gross macht. Die alkalische Gummilösung, mit der seine Experimente gemacht wurden, erhält wie die mit Gelatine versetzte Serum-salzflüssigkeit die Herzarbeit während eines längeren Zeitraumes. Hierbei aber muss man in Betracht ziehen, dass die Gummilösung, wie Locke (17) angedeutet, ausser dem hinzugesetzten Kochsalze und Alkali gerade die für die Herzthätigkeit noch erforderlichen Calcium- und Kaliumsalze enthält, wie dass deren colloide Beschaffenheit der Entfernung des Gewebesaftes ein solches Hinderniss in den Weg legt, dass der Ausspülungsact wesentlich verlängert wird. Am besten wird der Sachverhalt vielleicht dadurch beleuchtet, dass in dem oben (S. 10) wiedergegebenen Experimente mit Gelatinesalzlösung die Flüssigkeit, welche während der Arbeit in einigen Tropfen langsam durch die Herzwand sickerte, noch 19 Stunden nach Beginn des Versuches auf Heller's Eiweissprobe reagirte, obgleich die circulirende Flüssigkeit diese Reaction nicht gab. Ist also ein noch längerer Zeitraum nöthig, um durch Diffusion den Gewebesaft zu entfernen, und bleibt, wie wir vorher wahrscheinlich gemacht, nach dessen Entfernung in der Muskelzelle ein Vorrath an Spannkraft, so berechtigen die günstigen Resultate mit viscosen Lösungen kaum zu einem anderen Schluss, als dass die Wirkung ihrer Viscosität eine passiv bewahrende, nicht eine activ regenerirende ist. Allein bei einer Untersuchung der Bedingungen für die Herzarbeit muss man principiell unterscheiden zwischen einer Arbeit, welche das Herz mit Benutzung eigener Kraftquellen ausführt, und einer Arbeit, welche dem Herzen durch Einführung bekannter Faktoren abgewonnen werden kann, wenn die eigenen Mittel der Musculatur im Stiche lassen. Es sind hauptsächlich experimentelle Versuche nach dem letztgenannten Verfahren, von welchen bindende Schlüsse zu erwarten sind, und bei aller Anerkennung der Verwendbarkeit der viscosen Lösungen zu Circulationsversuchen müssen wir hier vor jeder anderen Erörterung über die Rolle der Viscosität absteigen, weil sie uns so wenig über die Natur und den Verlauf der mit der Herzarbeit verbundenen chemischen Prozesse aufklärt.

Von grösserem Interesse ist, dass Blut im Gegensatz zu den colloidalen Lösungen die Fähigkeit zu einer regenerativen Thätigkeit zu besitzen scheint, so dass das Herz, nachdem es mit einer der Blutmischung entsprechenden Salzflüssigkeit bis zur überhandnehmenden Kraftlosigkeit gearbeitet hat, von der Blutmischung selbst wieder arbeitsfähig gemacht wird. Wenn für eine unkritische Untersuchung unter gewissen Voraussetzungen ein ähnliches Resultat von der Gelatinelösung gewonnen wird, so sind hierbei sowohl die Ursache wie der Verlauf anderer Art. Es geschieht gar zu leicht, wenn die Gelatine

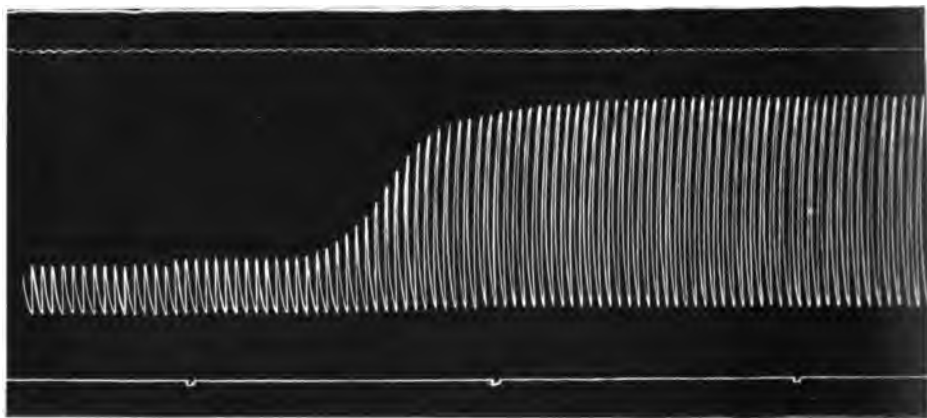
nur mit einer neutralen Flüssigkeit ausgewaschen wird, dass eine Quantität Calcium zurückbleibt, und dass das Herz durch gesteigerte Excursionen auf eine mit dem Gelatinezusatz eintretende Vermehrung der Calciummenge reagirt. Die Dauer dieser Recreation ist indessen sehr begrenzt. Hinsichtlich der Blutmischung ist, als Folge des Versuchsplanes, einer Wirkung durch vermehrte Calciummenge vorgebeugt, und wahrscheinlich die Vortheile der etwaigen neuen Gruppierung der anderen Salze auf ein Minimum reducirt, aber dennoch tritt eine Recreation ein, welche ausserdem von vielfach grösserer Dauer ist; alles Umstände, welche anzudeuten scheinen, dass der überlebende Muskel eine begrenzte Fähigkeit hat, neues Kraftmaterial aus dem Blute wieder zu bilden.

Es ist eine schwierige Aufgabe, den möglichen Antheil der Formelemente an dieser Wirkung festzustellen, um so mehr, da man im Allgemeinen wenig von ihrer Theilnahme an den nutritiven Processen der Gewebe kennt. Indessen hat Heffter (14) die intacten rothen Blutkörperchen als für die Activität des überlebenden Herzens nothwendig bezeichnet. Als Stütze hierfür beruft er sich darauf, dass lackfarbenes Blut und Serum sich nicht in demselben Grade wie das defibrinirte, aber sonst unveränderte Blut fähig gezeigt haben, die Kraft des Herzens zu erhalten. In der That kann man sich ohne Schwierigkeit davon überzeugen, dass das lackfarbene Blut, welches man durch Aufthauen bei 15° C. von fest gefrorenem, frischem Rinderblut erhält, bei normaler Verdünnung, d. h. mit zwei Theilen 0·7 proc. NaCl-Lösung, nicht die Herzarbeit aufrecht zu erhalten vermag.

Doch folgt hieraus nicht, dass das normale Blut durch seine intacten Blutkörperchen wirkt. Bei der Hämolyse haben nicht nur die rothen Formelemente ihre Integrität verloren und ihre Reste sich mit der Serumlösung vermischt, sondern das über die ganze Flüssigkeit vertheilte Hämoglobin scheint auch die im Serum befindlichen, ursprünglich gelösten Calciumsalze gebunden zu haben, und hierin liegt in der That die Ursache der Schwächung der Herzarbeit. Durch Entfernung der Ursache, d. h. durch Hinzufügung von einer genügenden Menge Calciumsalze¹ zu dem verdünnten, hämolytischen Blute, erhält man nämlich eine Flüssigkeit, die sich wie eine normale Blutmischung zum Herzen verhält (vgl. die Figg. 7 und 8). Heffter sprach dem

¹ Eine Mischung von 1 Theil hämolytischen Blutes und 2 Theilen 0·7 proc. NaCl-Lösung wurde in dem genannten Experiment mit 0·01 Procent CaCl₂ versetzt.

Hämoglobin alle Schuld an dem abweichenden Verhalten des lackfarbenen Blutes aus dem Grunde ab, dass eine mit Hämoglobin gemischte NaCl-Lösung keine direct giftige Wirkung ausübte, oder sich anders als eine reine Kochsalzlösung verhielte. Er übersah aber, weil er die Bedeutung der Calciumsalze nicht kannte oder nicht anerkannte, die Möglichkeit eines indirecten Schadens durch die Gegenwart des ausgelösten Hämoglobins. Ein solcher entsteht jedoch, wenn man, nachdem man ein Herz eine Zeit lang mit Serumsalzflüssigkeit gespeist hat, dieselbe gegen eine neue Quantität austauscht, welche mit einer genügenden Menge Hämoglobin¹ vermischt ist. Bald geben sich dann



SF

Fig. 7. Manometercurve, aufgezeichnet von einem Herzen nach 40 stünd. Arbeit mit einer Mischung von 1 Theil hämolytischen Blutes und 2 Theilen 0.7 proc. NaCl-Lösung. Bei SF wird anstatt der ersteren Flüssigkeit eine Lösung folgenden Inhalts hineingeleitet: 0.65 Proc. NaCl, 0.1 Proc. NaHCO₃, 0.01 Proc. KCl, 0.0065 Proc. CaCl₂. Die Curve wird von links nach rechts abgelesen. Die Zeitmarkirung in Minuten.

die typischen Symptome des Calciummangels zu erkennen durch wachsendes Unvermögen zur Systole, überhandnehmende Schläffheit der Musculatur und Ausspannung des Herzens durch den Druck der Flüssigkeit.

¹ Der Verfasser hat nicht die Gelegenheit gehabt, selbst Hämoglobin darzustellen. Die Präparate verschreiben sich theils aus der Instructionsapotheke Nordstjärnan zu Stockholm, theils von E. Merck, Darmstadt. Für den genannten Zweck war die Reinheit doch weder in dem einen, noch dem anderen Falle genügend. Von den mit Hämoglobinzusatz gemachten Experimenten, welche also mit einer gewissen Reservation aufgenommen werden müssen, ist aus diesem Grunde nichts reproducirt worden.

Das Verhalten des hämolytischen Blutes erscheint uns in vielen Beziehungen bemerkenswerth. Es enthält dieselben Ingredienzen wie normales Blut, hemmt aber dennoch die Herzarbeit aus dem einzigen Grunde, dass das Calcium hier an organische Complexe gebunden ist, während das Herz es in der Form von dissociirtem Elektrolyt nöthig hat. Wir sehen hierin ein neues Kriterium, dass der Muskel freie Ca-Ionen braucht, um die Arbeitskraft und die Irritabilität zu bewahren.

Eine der Möglichkeiten, mit denen Ringer hat rechnen müssen bei der Beurtheilung der Calciumwirkungen, nämlich die, dass nur die organischen Nährstoffe die Stärke der Herzarbeit bestimmen, dass Calcium aber eine ihnen ähnliche exitirende Wirkung ausüben kann, erscheint uns beseitigt, wenn dargethan ist, dass nicht einmal im

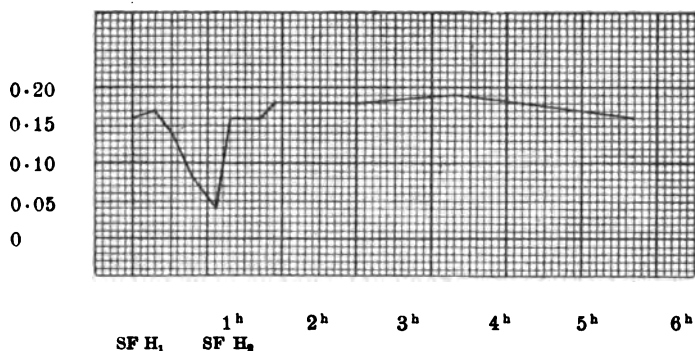


Fig. 8. Skizze der Variationen in Pulsvolumen während eines Versuches, wo das Herz gespeist wurde mit: 1. einer Lösung von 0.65 Proc. NaCl, 0.1 Proc. NaHCO₃, 0.01 Proc. KCl, 0.0065 Proc. CaCl₂ (= SF); 2. 1 Theil hämolytischen Blutes gemischt mit 2 Theilen 0.7 proc. NaCl-Lösung (= H₁); 3. = 1. (SF); 4) 1 Theil hämolytischen Blutes und 2 Theile 0.7 proc. NaCl-Lösung und 0.01 proc. CaCl₂ (H₂). Geholt von demselben Experiment wie Fig. 7.

Blute die Gegenwart von sämtlichen Eiweisskörpern bezw. nutrirenden Substanzen hinreichend ist, die Arbeit aufrecht zu erhalten, wenn Calcium nicht in disponibler Form enthalten ist. Beleuchtend ist endlich das angeführte Experiment nicht am geringsten dadurch, dass es davon zeugt, wie fruchtlos es sein muss, die Bedeutung einer organischen Substanz für die Muskelarbeit dadurch zu prüfen, dass man sie in „physiologischer Kochsalzlösung“ löst, ohne den Bedarf der übrigen Salze zu berücksichtigen.

Als weitere Stütze für seine Auffassung betonte Heffter, dass Blutmischung die Kraft des arbeitenden Herzens besser bewahrt als Serum. Sofern diese Angabe sich auf unverdünntes Serum bezieht,

so hat Verf. dieselbe bestätigt gefunden; das Froschherz scheint ein unverändertes Rinderblutserum weniger gut zu vertragen, und zwar unter Anderem in Folge der starken Alkalescentz desselben. In solchen Fällen aber wird das Resultat besser, wenn man mit NaCl-Lösung verdünnt. Verdünnung von Rinderblutserum wie von Rinderblut ist deshalb zu empfehlen und, wie bereits McGuire's Versuche ergaben, weniger als eine Sparsamkeitsmaassregel, als wie ein Erfüllen gewisser Anforderungen von Seiten des Muskels zu betrachten. Heffter's ungünstige Resultate, welche sich von den meinigen auch in den Fällen unterschieden, wo Verdünnung vorlag, können ihre Ursache in accidentellen schädlichen Eigenschaften bei der angewandten Serumflüssigkeit oder in ungenügender Ventilation haben. Er setzte nämlich voraus, dass die Respiration des Herzens ausschliesslich durch Vermittelung der circulirenden Flüssigkeit — nicht, wie bei Anordnung des Verf. durch Ventilation in Gasmischung — geschehen soll, und unter solchen Verhältnissen kann es nicht mit Fug bezweifelt werden, dass die Blutmischung der Serummischung überlegen ist, und zwar in Folge Anwesenheit der intacten Blutkörperchen. Andererseits aber darf man nicht übersehen, dass die Blutmischung z. B. einer Salzlösung auch durch andere Eigenschaften als ihren Blutkörperchen überlegen ist. Wenn aber Heffter als seine Ansicht ausgesprochen hat, dass die rothen Blutkörperchen die wichtigsten Faktoren für die Herzthätigkeit bilden, findet er dieselbe nicht ohne Grund gegen die Resultate anderer Forscher streitend. Es zeigt sich nämlich, dass die Arbeit der durch Salzdiät verarmten Musculatur nicht nur von Blutmischung verstärkt wird, sondern auch von Serummischung (1 Theil Serum und 3 Theile 0.7 proc. NaCl-Lösung) (vgl. Fig. 4), und zwar in einer Weise, welche bei Anwendung eines geeigneten Gasmediums von der der Blutmischung nicht nachweisbar abzuweichen scheint.

D. Ueber die Bedeutung der organischen Substanzen des Serums.

Wenn also die Serummischung in einem gewissen Grade die mechanische Kraft des Herzens wieder herstellt, nachdem es mit einer Lösung der Serumsalze bis zur Ermattung gearbeitet hat, so muss das Serum eine organische Substanz enthalten, durch deren Betheiligung am Stoffwechsel ein verbessertes Arbeitsergebnis erreicht wird. Wir werden dann vor die keineswegs leicht zu lösende Aufgabe gestellt, den Körper zu isoliren, dessen Verbrennung im vorliegenden Falle eine Quelle von Muskelkraft ist. Einzelne Versuche sind zu ähnlichem Zwecke früher gemacht worden. Hierher seien

Stienon's (3) Beobachtungen über die „fibrinoplastische Substanz“ gezählt. Andere Forscher haben sich damit begnügt, gereinigte Präparate von Substanzen zu prüfen, die nach seiner Zeit herrschenden Anschauungen im Serum hätten vorkommen müssen. So studirte Gaule (4) den Einfluss des Peptons auf die Herzarbeit, Martius (6) die des Peptons und Glykogens und Locke (16) die des Traubenzuckers. Gaule und Locke glaubten beide zu positivem, Stienon und Martius zu negativem Resultate gekommen zu sein.

In älteren Arbeiten gilt Folgendes als Kriterium für die Verwendbarkeit eines Stoffes zu Muskelarbeit. Wenn die Substanz in einer zweckmässig alkalisirten Kochsalzlösung gelöst wird, soll sie die Herzarbeit wieder beleben, wenn diese aufzuhören droht in Folge der fortgehenden Behandlung des Herzens mit ausschliesslich alkalisirter Kochsalzlösung. Indess ist niemals dargethan worden, dass eine einheitliche organische Substanz existirt, welche diese Forderung erfüllt. In letzterer Zeit hat White (18) ausgesprochen, dass einer Flüssigkeit nutritive Eigenschaften erst dann zuzusprechen seien, wenn sie das Herz zu activiren vermag, nachdem es nach Behandlung abwechselnd mit Ringer's Lösung und physiologischer Kochsalzlösung aufgehört hat, auf die stärksten Reizmittel zu reagiren. White zeigte, dass diese Ansprüche vom Blute erfüllt werden. Indess ist dies Verfahren durchaus nicht unantastbar, denn theils ist die Forderung auf alternirende Behandlung mit zwei verschiedenen Salzflüssigkeiten eine ganz willkürliche, theils erhält man keine überzeugenden Garantien dafür, dass es die nutriirenden Eigenschaften der Flüssigkeit sind, durch welche die Function wieder hergestellt wird; der höhere Calciumgehalt und die grössere Alkalescenz des Blutes können, von anderen Eigenschaften nicht zu reden, dabei wirksam sein.

Da es ausserhalb des Rahmens dieser Arbeit liegt, andere organische Substanzen als solche zu untersuchen, welche aus Serum isolirt worden sind oder isolirt werden können, setzen wir nur voraus, dass, wenn eine von ihnen Nährwerth für die Muskelzelle besitzt, deren Lösung in der Serumflüssigkeit nahezu dieselbe Ueberlegenheit über das unorganische Lösungsmittel besitzen soll wie die Serummischung selbst. Um den Einfluss der verschiedenen Isolationsproducte zu beurtheilen, hat Verf. das Herz erst mit Serumsalzflüssigkeit so lange arbeiten lassen, dass das Pulsvolumen auf $\frac{1}{2}$, bis $\frac{1}{4}$ des ursprünglichen sinkt, wonach eine mit derselben Flüssigkeit bereitete Lösung der zu prüfenden Substanz hineingeleitet worden ist. Folgt dann eine lange — 10 Stunden oder mehr — dauernde Steigerung der Arbeitskraft, die nicht erklärt werden kann z. B. nur durch Umlacirung

des Alkalis oder unfreiwillige Vermehrung des Calciums bei Einführung eines als Säure wirkenden calciumhaltigen Eiweisskörpers, so muss sie in der Eigenschaft der organischen Substanz begründet sein, sich zu assimiliren und den Herzmuskel mit Material für neue Arbeit zu versehen.

a) Glycose.

Die erste Untersuchung galt der Glykose, welche in reiner Form in der Salzflüssigkeit in einer Menge von 0.05 bis 0.1 Proc. aufgelöst wurde. Indess wurde bei der Einführung dieser Substanz kein mit der Wirkung von Serummischung vergleichbares oder auch nur merkbares Resultat verspürt. Locke's Experimente, welche für eine Verwerthung der ungebundenen Glykose sprachen, erhalten also keine Bestätigung durch Versuche nach der hier angewandten Methode.

b) Serumalbumin.

Grössere Erwartungen hatte man vom Serumalbumin, weil die allgemein anerkannten nutritiven Flüssigkeiten (Blut, Serum, Lymphe, Milch) die gemeinsame Eigenschaft haben, bei chemischer Analyse Serumalbumin als eines ihrer quantitativ wichtigsten Producte zu geben. Ausser diesem Wahrscheinlichkeitsgrunde liegt indess kein Beweis vor, dass das Serumalbumin bei der Arbeit des Herzmuskels die Kraftquelle bildet. Ohne Weiteres diese Ansicht geltend zu machen, wäre unklug, da die animalen Nutritionsflüssigkeiten ja andere Eiweisskörper, wie auch Repräsentanten für andere Gruppen organischer Verbindungen enthalten. Es schien also von einem gewissen Interesse zu sein zu erforschen, in welchem Maasse das nach modernen chemischen Methoden isolirte Serumalbumin die Erwartungen erfüllt, die man in Bezug auf dasselbe ausgesprochen hat.

Serumalbumin wurde zuerst nach Johansson's¹ Methode dargestellt. Serum wurde bei 30° C. mit $MgSO_4$ bis zur Sättigung gefällt. Das Filtrat wurde mit Essigsäure zu 1 Proc. versetzt. Nach neuer Filterung wurde die Fällung mit Zusatz von NaOH zu neutraler Reaction in destillirtem Wasser gelöst; die Lösung wurde dialysirt, bis der Inhalt der Dialysatoren nur eine mit Mühe unterscheidbare Reaction auf $BaCl_2$ -Zusatz gab. So gereinigtes Serumalbumin (Serumalbumin a), entsprechend 250^{ccm} Serum, wurde unter Zusatz der gewöhnlichen Serumsalze durch Verdünnung mit destillirtem Wasser zu einem Liter Volumen gebracht, so dass die Flüssigkeit, unter der Voraussetzung der quantitativen Herausfällung des Serumalbumins, Serum-

¹ Nach O. Hammarsten, *Lehrbuch der physiol. Chemie*. 3. Aufl. S. 106 cit.

albumin in derselben Menge enthielt wie ein mit 3 Theilen physiologischer Kochsalzlösung verdünntes Serum.

In allen mit dieser Flüssigkeit angestellten Versuchen trat nun das eigenthümliche Verhältniss ein, dass nach dem Albuminzusatz die Arbeit herunterging, anstatt zu steigen. Hierzu erschien kaum ein anderer Erklärungsgrund möglich als der, dass das mit Säure behandelte Serumalbumin einen Theil Ca-Radikale in der Salzflüssigkeit bindet, und auf diese Weise indirect, ebenso wie der Zusatz von freiem Hämoglobin, Symptome von Calciummangel bringt. Um die Möglichkeit dieser Fehlerquelle auszuschliessen, wurde das Verfahren dahin geändert, dass der Inhalt im Dialysator gegen Ende der Dialyse mit CaCl_2 zu 0.0065 Proc. versetzt wurde, wonach die Dialyse einige Zeit gegen destillirtes Wasser von demselben CaCl_2 -Gehalt fortgehen durfte. Serumalbumin von der neuen Bereitung (Serumalbumin *b*) wurde dann auf dieselbe Weise wie das vorige geprüft. In Fig. 9 ist der Verlauf

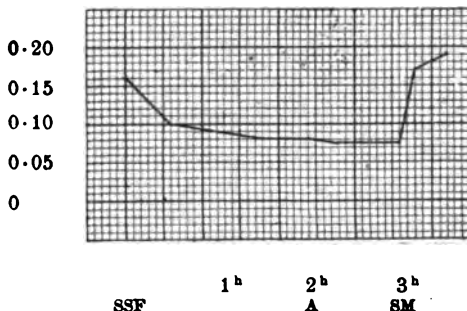


Fig. 9. Die Curve giebt die Veränderungen in der Pulsweite bei einem Herzen unter abwechselnder Arbeit mit 1. Serumsalzflüssigkeit (SSF) nach der Formel S. 9 wieder; 2. derselben Flüssigkeit, versetzt mit Serumalbumin *b* in einer Menge, entsprechend $\frac{1}{4}$ von derjenigen, welche aus Serum erhalten wird (A); 3. Serummischung (SM).

eines solchen Experimentes graphisch wiedergegeben. Eine schädliche Wirkung des Albuminzusatzes erscheint jetzt nicht mehr. Andererseits aber kam in dem citirten und in noch einem Experiment (Fig. 10 S. 46) auch keine Veränderung zum Besseren vor. In einem dritten Falle (Exp. 27./II.) wurde eine sowohl nach Zeit als Umfang ziemlich begrenzte Arbeitssteigerung beobachtet.

Experiment d. 27./II. 1899. Serumsalzflüssigkeit. Atmosphäre: Luft.

Zeit	Pulsvolumen in Cub.-Cent.
2 ^h 40'	0.29
4 ^h	0.26
5 ^h	0.235

Zeit	Pulsvolumen in Cub.-Cent.
6 ^h	0.215
7 ^h	0.185
8 ^h	0.185
8 ^h 50'	0.05
8 ^h 52' wurde eine Lösung von Albumin b in die Serumsalzflüssigkeit geleitet.	
9 ^h	0.06
9 ^h 20'	0.09
9 ^h 40'	0.095
10 ^h	0.10
10 ^h 20'	0.09
10 ^h 40'	0.08
11 ^h	0.065
11 ^h 50'	0.05

Obgleich der Zusatz von Serumalbumin hier von einer augenscheinlichen Arbeitssteigerung begleitet wird, ist diese doch allzu vorübergehend, um der Restitution durch Serummischung zur Seite gestellt werden zu können und zu der Ansicht zu berechtigen, dass das Serumalbumin in den Vorrath des Muskels an disponibler Spannkraft eingeht. Möglicher Weise ist die Veränderung in der Alkaleszenz eine beitragende Ursache zu dem günstigen Resultate, und wird dieses durch den viscosen Charakter des Albumins verlängert.

Serumalbumin wurde zur Controle auch nach Starke's¹ Methode erzeugt, die keine Säurebehandlung erfordert. Serum wurde mit MgSO_4 zur Sättigung bei 30° C. gefällt. Das Filtrat wurde mit Na_2SO_4 bei 40° gesättigt. Nach neuer Filtrirung ward die Fällung in Wasser gelöst und die Lösung der Dialyse unterworfen, bis sie mit BaCl_2 -Lösung nur eine schwache Andeutung von Reaktion gab. Von so dargestelltem Serumalbumin (Serumalbumin c) wurde eine Lösung geprüft, deren Albumingehalt $\frac{1}{8}$ von dem im Serum entsprach.

Experiment d. 1./V. 1899. Serumsalzflüssigkeit. Atmosphäre: Luft.

Zeit	Pulsvolumen in Cub.-Cent.
1 ^h 15'	0.11
1 ^h 55'	0.14
3 ^h 4'	0.14
4 ^h 10'	0.11
4 ^h 30'	0.07
4 ^h 33' Serumsalzflüssigkeit, versetzt mit Serumalbumin c.	
5 ^h	0.05
6 ^h 14'	0.05
8 ^h 35'	0.04

¹ Nach O. Hammarsten, *Lehrbuch der physiologischen Chemie*. 3. Aufl. S. 107 citirt.

Eine Veränderung der Arbeit in Folge des Albuminzusatzes scheint in diesem Falle kaum stattgefunden zu haben.

In keinem der angeführten Experimente hat von der Lösung des chemisch isolirten Serumalbumins in einem sonst für die Arbeit günstigen unorganischen Menstrum eine Wirkung erhalten werden können wie von der Mutterflüssigkeit, aus welcher das Serumalbumin dargestellt worden ist. Sofern man unter dem letzteren die durch analytische Methoden gewonnene Substanz unter diesem Namen versteht, muss es als übereilt bezeichnet werden, das Serumalbumin als das wirksame Princip in den zusammengesetzten Flüssigkeiten zu betrachten, welche die Fähigkeit gezeigt haben, die Herzarbeit zu unterhalten. Wenn also v. Ott (9) auf diese unhaltbare Annahme eine Methode gegründet hat, Serumalbumin nachzuweisen, und mit dieser Methode eine schon im Magen- und Darminhalt erfolgende Synthese von Pepton zu Serumalbumin nachgewiesen zu haben meint, so fehlt in seinen Experimenten der wirkliche Grund für die Beweiskraft, welche er denselben hat beilegen wollen.

c) Paraglobulin.

Abgesehen von Stienon's früher erwähnter Prüfung der fibrinoplastischen Substanz, scheint die zweite Gruppe von Eiweisskörpern im Serum — das Paraglobulin — nicht zum Gegenstande für Nutritionsuntersuchungen am Froschherzen gemacht worden zu sein. Obgleich sie in sich recht heterogene Körper enthalten dürfte, repräsentirt sie doch eine durch chemische Charaktere vom Albumin gut abgegrenzte Gruppe und scheint aus diesem Grunde eine ähnliche Prüfung wie das Albumin zu verdienen. In Folge reichlicherer Ausbeute wurde Pferdeserum als Material für die Darstellung verwandt. Das Paraglobulin wurde nach folgenden allgemeinen Vorschriften isolirt.¹ Nach Neutralisation mit Essigsäure wurde Serum mit dem 12fachen Volumen Wasser verdünnt. Der abdecantirte und abfiltrirte Bodensatz wurde in einer geringen Menge 1 proc. NaCl-Lösung gelöst, wonach das Globulin wieder durch Verdünnung mit einem vielfachen Volumen Aqua dest. ausgefällt wurde. Die neue, abfiltrirte und ausgepresste Fällung wurde in Serumsalzflüssigkeit gelöst, sodass auf 1 Liter derselben die Fällung von 250^{ccm} Serum kam. In Fig. 10 wird die Wirkung des durch zwei Fällungen gereinigten Paraglobulins, nachdem vorher Serum-

¹ Vgl. O. Hammarsten, *Lehrbuch der physiologischen Chemie*. 3. Aufl. S. 105.

albumin δ ohne sichtliches Resultat versucht worden war, anschaulich gemacht.

Die Curve zeigt nach der Globulinzufuhr eine rasche Steigerung des Pulsvolumens, welches etwa 20 Minuten nach dem Flüssigkeitswechsel culminirt und dann eine Höhe, entsprechend der bei Beginn des Versuches erreicht. Das Volumen fängt nun an, mit etwas geringerer Schnelligkeit zurückzugehen, und befindet sich nach Verlauf von ungefähr einer Stunde auf demselben Niveau wie unmittelbar vor dem Umtausch. Der ganze Verlauf erinnert offenbar an den, den wir einer mässigen Vermehrung der Calciummenge haben folgen sehen, wenn das Herz lange mit einer physiologischen Salzflüssigkeit gearbeitet hatte (vgl. Fig. 6 S. 34). Dass auch Calciumsalze mit der Fällung folgen, dürfte als entschieden zu betrachten sein. Doch ist kaum anzunehmen, dass

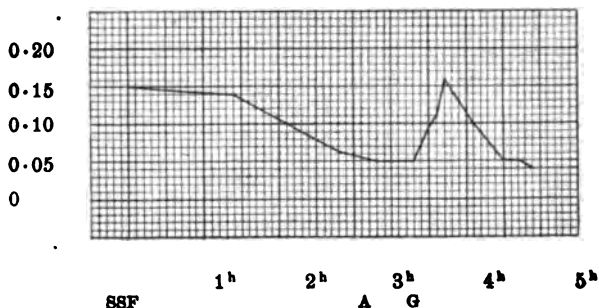


Fig. 10. Die Curve markirt die während des Verlaufes eines Experimentes fortschreitenden Pulsveränderungen bei der Arbeit mit 1. Serumsalzflüssigkeit (SSF) nach der Formel S. 9; 2. derselben Flüssigkeit, versetzt mit Serumalbumin δ zu einer Menge, entsprechend $\frac{1}{4}$ der aus einer ebenso grossen Serumquantität erhaltenen (A); 3. einer Flüssigkeit, entstanden durch Lösung der Paraglobulin-fällung von 250 cm^3 Serum in 1 Liter der Flüssigkeit unter 1. (G).

dies in einer Ausdehnung geschieht, welche hinreichend ist, das gewonnene Resultat allein zu erklären. Welche auch die beitragenden Faktoren sind, so scheint die Reaction allzu schnell vorübergehend zu sein, um von einer durchgreifenden Veränderung im Stoffwechsel wie bei Zufuhr von Serummischung zu zeugen.

Zu derselben Auffassung führten Controlversuche mit einem auf anderem Wege dargestellten Paraglobulin. Serum wurde mit MgSO_4 bei 30°C . gesättigt. Die Fällung wurde auf den Filter genommen, mit gesättigter MgSO_4 -Lösung gewaschen und in einer gesättigten Lösung von Na_2SO_4 ¹ vertheilt. Die so gereinigte und dann abfiltrirte

¹ Die Behandlung mit Na_2SO_4 sollte die Dialyse erleichtern und die Er-

Fällung wurde in Wasser gelöst, und die Lösung der Dialyse unterworfen. Von dem Producte aus der Dialyse nebst den erforderlichen Serumsalzen wurde eine Flüssigkeit bereitet, welche Paraglobulin enthielt, entsprechend $\frac{1}{8}$ der Menge im Serum. Ein angestellter Versuch zeigt folgende Beträge:

Experiment d. 15./V. 1899. Serumsalzflüssigkeit. Atmosphäre: Luft.

Zeit	Pulsvolumen in Cub.-Cent.
4 ^h 15'	0.28
6 ^h 22'	0.065
6 ^h 27'	wurde die Paraglobulinlösung hineingeleitet.
6 ^h 35'	0.105
6 ^h 50'	0.100
7 ^h 30'	0.088
8 ^h 20'	0.045

Was, wie wir vorher gesehen, vom Traubenzucker und Serumalbumin gilt, scheint auch in Bezug auf das Paraglobulin seine Gültigkeit zu haben. Die isolirte und chemisch gereinigte Substanz wird in diesem Zustande für die Herzarbeit nicht verwerthet. In einem solchen Resultat braucht an und für sich aber nichts Befremdendes zu liegen. In der That zwingt uns nichts anzunehmen, dass die zu einem gewissen Grade conventionellen Producte der chemischen Analyse zugleich nutritive Einheiten sind; sie können mit ebenso grosser Wahrscheinlichkeit Spaltungsproducte höherer Systeme sein, welche in dem hier vorliegenden Falle nur in ihrer vollendeten Form in den Verbrennungsact hineingerückt werden können. Ein Umstand, welcher die letzte Alternative wahrscheinlich zu machen scheint, kam durch einen Zufall an den Tag. Wenn der übliche Reinigungsprocess bei der Bereitung des Paraglobulins nach der ersten Methode unterlassen und die primäre, abfiltrirte und ausgepresste Fällung nur von wasserlöslichen Verunreinigungen durch wiederholte Vertheilung in destillirtem Wasser und Wiedergewinnung mittels Sedimentirung und Filtrirung befreit wird, erhält man im Präparat, dessen Lösung mit Serumsalzen der Serum Mischung sich so ähnlich verhält, dass es unsere Aufmerksamkeit ganz besonders verdient. Beleuchtend für dessen Verhalten ist beigefügtes Experiment.

zeugung möglichst übereinstimmend mit der Starke'schen Methode für Isolirung des Serumalbumines machen.

Studien über Muskelwärme.¹

Von

Magnus Blix.

(Aus dem physiologischen Laboratorium der Universität Lund.)

(Hierzu Taf. I—III.)

Einleitung.

Allgemeines.²

Bei den höheren Thieren macht die Musculatur einen ganz wesentlichen Theil von der Körpermasse aus. Ein grosser Theil des Stoffumsatzes wird deshalb auch hier vollzogen. Das stetige Zerfallen und Wiederaufbauen der Molecüle, das mit der Lebensthätigkeit der Zelle verbunden ist und die Intensität dieser Thätigkeit beweist, ist gewiss nicht im Muskel am wenigsten lebhaft. Der Reichthum an Blutgefässen und damit die Fülle der Durchblutung deuten schon an, dass eine schnelle Umsetzung in diesen Organen stattfindet, dass die Zufuhr von Nährstoff, Energie in der Form chemischer Spannkraft, schnell und reichlich vorgeht oder wenigstens vorgehen kann, wie auch die Wegführung der unbrauchbaren Producte der Umsetzung mit entsprechender Geschwindigkeit geschehen kann.

¹ Der Redaction am 28. Mai 1901 zugegangen.

² Diese Arbeit ist früher in schwedischer Sprache als Universitätsprogramme von 1899 und 1900 erschienen. Bei Redigirung der deutschen Ausgabe bin ich dem Originale meistens genau gefolgt. Einige Verkürzungen habe ich mir doch gestattet und ein Nachtrag, welcher im Originale nicht zu finden ist, wurde hinzugefügt.

Die chemischen Processe, welche wir aus guten Gründen im Muskel sich abspielend annehmen, haben vor Allem die Aufgabe, den Muskel zu ernähren, denselben in functionstüchtigem Zustande zu erhalten und ihn in diesen Zustand zurück zu bringen, wenn er aus irgend einer Ursache daraus gebracht wurde. Weiter nimmt man aber auch an, dass die ohne Zweifel wichtigste Function des Muskels, mechanische Arbeit zu leisten, von gewissen, im Muskel vor sich gehenden Processen bedingt ist, durch welche also Energieumsetzung von chemischer in mechanische Form stattfindet.

Endlich hat man auch gefunden, dass der Muskel Wärme entwickeln kann, welche ohne Zweifel gleichfalls aus chemischen Processen im Muskel abgeleitet werden muss. Dass es chemische Processe in der organischen Welt giebt, welche mit Wärmeentwicklung verbunden sind, kennen wir sogar vom Pflanzenreich. Aber viel wichtiger für den Organismus ist die Wärmeentwicklung der Thiere — vor Allem der warmblütigen Thiere. Bei ihnen wird das wärmeproducirende Vermögen der Muskeln von durchgreifender Bedeutung für die Unterhaltung und Regulirung der Körpertemperatur. Bei den warmblütigen Thieren ist also die Aufgabe des Muskels in dem Organismus eine doppelte: mechanische Arbeit zu verrichten und Wärme zu entwickeln. Dass diese beiden Formen der Arbeit aus chemischer Energie des Muskels hervorgehen, glauben wir ja zu kennen, aber von der Natur dieses Chemismus wissen wir doch wenig. Welche Stoffe das Material liefern, und welche neue Molecüle aufgebaut werden, ist noch nicht bestimmt; noch weniger kennt man, was die chemischen Reactionen in einem gewissen Augenblicke und in Folge des von aussen zugeführten Reizantriebes hervorruft oder einleitet. Und ebenso schwankend stehen wir vor der Frage: welcher Mechanismus vermittelt die Umsetzung der chemischen Energie in Arbeit?

Mit ziemlich grosser Wahrscheinlichkeit können wir annehmen, dass die chemische Umsetzung in verschiedenen Muskeln und auch in demselben Muskel unter verschiedenen Umständen ungleichen Umfang hat. Weiter haben wir gute Gründe anzunehmen, dass die chemischen Reactionen nicht unter allen Umständen gleicher Art sind, so dass z. B. der ernährende und restaurirende (anabolische) Process des ruhenden Muskels ein ganz anderer ist, als der destructive (katabolische) Process, welcher im arbeitenden Muskel stattfindet. Eigentlich laufen wohl im Allgemeinen mehrere Arten chemischer Processe im Muskel gleichzeitig ab, er möge in ruhendem oder in arbeitendem Zustande sich befinden; aber bald sind die restaurirenden Processe vorherrschend, bald die destructiven; ein Mal überwiegen die assimilatorischen Processe,

ein anderes Mal dissimilatorische; ein Mal wird der Energievorrath des Muskels aus den mit dem Blute zugeführten Stoffen bereichert, ein anderes Mal wird ein Theil dieser Energie verbraucht, indem sie umgesetzt wird — entweder in Arbeit, welche die mechanische Energie ausserhalb des Muskels anwachsen lässt, oder in Wärme, welche Anfangs die eigene Temperatur des Muskels steigert, nachher aber gewöhnlich allmählich abgeleitet wird.

Durch die Annahme, dass einige dieser chemischen Processe exothermischer Natur sind — verbunden mit Freimachen von Wärme — wird die Temperatursteigerung des Muskels ganz verständlich. Hiermit ist freilich nicht gesagt oder gemeint, dass nicht auch endothermische (wärmehindende) Processe im Muskel vorkommen können, obwohl die Beobachtungen, die man zur Stütze einer solchen Annahme möglicher Weise vorführen könnte, sicherlich einer näheren Prüfung bedürfen.

Wenn der Muskel im ruhenden Zustande sich befindet, scheinen die exothermischen Processe keinen hervorragenden Platz im Chemismus des Muskels einzunehmen. Offenbar verhält sich so der überlebende nicht durchblutete Muskel. Von durchbluteten Muskeln liegen Beobachtungen vor, welche wohl so gedeutet werden können, dass sie die entgegengesetzte Meinung stützen. Ich werde diese Beobachtungen unten in dem historischen Abschnitte näher berühren. Hier will ich nur daran erinnern, dass man nicht a priori entscheiden kann, ob nervöse oder andere Antriebe auf die Art des Muskelchemismus so einwirken können, dass dieser, ohne den Muskel dabei aus dem ruhenden Zustande zu bringen, von überwiegend exothermischer Natur wird. Ein derartiger Einfluss des Nervensystems auf die Wärmeleistung des Muskels gehört noch immer zu den unentschiedenen Streitfragen. Hiermit wird auch die Frage vom Mechanismus der Temperaturerhöhung im Fieber gestreift, welche wohl auf lebhaftes Interesse rechnen kann.

Dass die chemischen Processe im arbeitenden Muskel von überwiegend exothermischer Natur sind, wird wohl nunmehr kaum in Abrede gestellt. Es ist nämlich beobachtet worden, dass der Muskel im arbeitenden Zustande und ohne dass ihm Wärme von aussen zugeführt wird, höher temperirt wird. Daraus folgt doch nicht, dass eben diejenigen chemischen Reactionen, durch welche ein Theil der chemischen Energie des Muskels in mechanische Arbeit verwandelt wird, nothwendig von exothermischer Natur sind. Es könnte sich sehr wohl so verhalten, dass die exothermischen Processe jene Processe nur mehr oder weniger treu begleiten. Gehen ja sogar mehrere Beobachtungen

in der Richtung, dass die Wärmelieferung des Muskels innerhalb weiten Grenzen schwanken kann, ohne dass die mechanische Arbeit gleichlaufende Schwankungen aufweist.

Hier giebt es, wie wir sehen, mehrere Fragen von principieller Bedeutung, welche noch der Antwort warten. Man könnte wohl meinen, dass das in der Litteratur vorliegende Versuchsmaterial genügende Anhaltspunkte aufweisen könnte, um die Antwort auf einige dieser Fragen zu formuliren. Aber die Sache verhält sich so, dass diejenigen Experimente, die hier entscheiden sollten, oft unbestimmte, oft streitige, im Ganzen wenig zuverlässige oder überzeugende Antworten ergaben. Dies scheint mir wesentlich von folgenden zwei Umständen abzuhängen: erstens sind die Experimente, von welchen es hier handelt, ungemein spröder Natur, und zweitens war es manchmal schwer, sich von vorgefassten Meinungen los zu machen, was oft die Verwerthung und Deutung der gemachten Beobachtungen beeinflusst hat. Diese Vorwürfe gelten natürlich nicht Allen, die auf diesem Gebiete experimentirt haben, wie sich aus dem folgenden historischen Ueberblicke ergeben wird.

Meistentheils war aber die Versuchstechnik mangelhaft, vor Allem nicht genügend auf ihre Zuverlässigkeit gegen Einmischung störender Momente geprüft, so dass man befürchten kann, dass die beobachteten Wärmearauschläge nicht allein oder doch nicht hauptsächlich von demselben Faktor abhängen, den man in die Experimente einführen wollte und dessen Einfluss man aufzufinden beabsichtigte. Da aber manche, sogar mit verschiedenen Methoden ausgeführten Experimente zu übereinstimmenden Ergebnissen führten, so wuchs dadurch die Wahrscheinlichkeit, dass diese Ergebnisse richtig waren, und dies um so viel mehr, je mehr die Experimentirmethoden von einander verschieden waren, indem die Wahrscheinlichkeit, dass die mitwirkenden fremden Momente dieselben oder gleichwirkend sein sollten, damit vermindert wird.

Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet muss man theils bedauern, dass die bisher angewandten Untersuchungsmethoden nicht grössere principielle Verschiedenheiten aufzeigen, theils auch jede gute neue Methode freundlich begrüssen, besonders wenn sie grössere Zuverlässigkeit der Resultate sichert.

Geschichtlicher Ueberblick.

Eine vollständige, kritische Darstellung aller innerhalb dieses Gebietes bisher ausgeführten und publicirten Arbeiten würde ziemlich

lang und mühsam werden, gewiss ohne der Arbeit entsprechenden Gewinn zu bringen. Deshalb will ich nur solche Arbeiten erwähnen, die mir in irgend einer Hinsicht grösseres Interesse darzubieten scheinen. Besonders will ich mich bei denen aufhalten, welche einschlägige Experimente zur Discussion und Erläuterung der Frage aufzeigen. Dabei will ich specielle Aufmerksamkeit richten auf die Angaben über die Methoden und was ihre Brauchbarkeit und damit die Zuverlässigkeit der Ergebnisse erleuchten kann.

Um Wiederholungen zu vermeiden, führe ich nicht die kritisirenden Bemerkungen an einer Stelle zusammen, sondern stelle sie im Zusammenhange mit den Referaten der Arbeiten dar, wo ich nicht dem Leser selbst die Schlüsse zu machen überlasse.

Die ersten bekannten Versuche zu ermitteln, ob der Muskel bei der Arbeit Wärme producirt, wurde von einem Dänen, Dr. Bunzen (1),¹ im Anfange des vorigen Jahrhunderts (1805) gemacht. Die Versuche, welche gelangen, d. h. positive Resultate ergaben, wurden an überlebenden Muskeln kürzlich geschlachteter Thiere (einer Starke und eines Lammes) in der Weise ausgeführt, dass ein Luftthermometer zwischen den Muskeln eingebracht wurde, welche nachher mit sog. Armaturen, wie es zu jener Zeit üblich war, gereizt wurden. Dabei wurde die Zinkarmatur an den Hüftnerven und die Silberarmatur an den Muskeln des Unterschenkels gedrückt.

Im Jahre 1835 berichteten Becquerel und Breschet (2) über hierher gehörige Untersuchungen nach einer Methode, welche später oft angewendet wurde. Sie benutzten Thermosäulen aus Kupfer-Eisen in Nadelform, welche durch die Haut in die Muskeln lebender Menschen oder (warmblütiger) Thiere eingestochen wurden. Diese Thermoadeln wurden dann mit einem geeigneten Galvanometer verbunden und die Aufstellung war so empfindlich, dass die Verff. eine Erwärmung von 0.01°C . ablesen konnten. Sie fanden die Muskeln wärmer als das nächstliegende Unterhautgewebe. Bei mehrmaligen Zusammenziehungen stieg die Temperatur der Muskeln in einigen Versuchen bis zu 0.5°C . Manche Versuche gaben nur undeutliche oder sogar negative Erfolge. Die Verfasser schreiben die gefundenen Wärmeauschläge wesentlich dem in Folge der Zusammenziehung gesteigerten Blutzufluss zu, stellen aber auch in Frage, ob es nicht einen vom Nervensystem direct ausgehenden Einfluss auf die Wärmebildung im Muskel gäbe, eine Vorstellung, die wohl noch nicht ganz allgemein aufgegeben sein dürfte. Gewiss ist allerdings, dass der Blutstrom bei

¹ Siehe Litteraturverzeichnis.

Reizung des Muskels sich ändert und dass dies oft die Wärmeausschläge grösstentheils bedingt hat in den Versuchen, die mit Muskeln ausgeführt wurden, in welchen die Circulation noch bestand.

Helmholtz (3) war der Erste, der die Wärmeentwicklung des arbeitenden Muskels nach einer tadellosen Experimentalmethode gezeigt hat. Er benutzte überlebende circulationslose Froschmuskeln, die indirect (durch den Nerven) gereizt wurden. In diesen Muskeln war jede zweite der Löthungen einer dreifachen, aus dünnen Eisen- und Neusilberlamellen zusammengesetzten Thermosäule eingestochen. Die anderen Löthungen stach er in die nicht gereizten Muskeln des anderen Beines ein. Das Ganze war in einem Kasten mit gut angefeuchteter Luft, der sog. feuchten Kammer, eingeschlossen. Thermomultiplicator und Aufstellung waren so empfindlich, dass der kleinste ablesbare Ausschlag 0.00074°C . entsprach. Helmholtz giebt an, dass er nach 2—3 Minuten anhaltendem Tetanus des Muskels einen Ausschlag bekam, der einer Erwärmung von $0.14—0.18^{\circ}\text{C}$. entsprach, und nach längerem Tetanus noch grösser wurde. Dass die Ausschläge nicht von elektromagnetischen oder thermischen Wirkungen des gebrauchten Reizstromes veranlasst waren, wurde dadurch geprüft, dass dieselben Ströme, nachdem die Erregbarkeit des Muskels verloren war, nochmals durchgeleitet wurden und dann keine Ausschläge hervorbrachten. Auch wenn er dieselben Ströme durch den Muskel (nach eingebüsster Erregbarkeit) leitete, wie bei directer Reizung, bekam er nur sehr schwache Wirkungen auf die Nadel (Joule's Wärme).

Nicht eher als 1856 finden wir in der Litteratur einen Anfang, die hier erwähnten Versuche Helmholtz' zu wiederholen.

Matteucci (4) lieferte dann einen summarischen Bericht über einige von ihm angewandte Methoden, die Wärmeproduction der sich contrahirenden Muskeln zu demonstrieren. So hing er in einer Flasche fünf präparirte Frösche, und zwischen diesen ein Thermometer auf, — oder er benutzte die Becquerel'sche Combination. Einen weit deutlicheren Ausschlag bekommt aber Matteucci, indem er zu den Thermosäulen Wismuth und Antimon verwendet, denen er eine derartige Gestalt gab, dass die Löthstellen in je ihren überlebenden Muskel desselben Frosches eingesteckt werden konnten. Der eine Muskel wurde indirect gereizt, und die Galvanometernadel zeigte sofort, dass der Muskel wärmer wurde, und nach 4 oder 5 Secunden Reizung machte die Nadel Ausschläge von 25 bis 30° . Wie viele Temperaturgrade damit angezeigt werden, sagt er nicht. Aber Matteucci hat sich überzeugt, dass mechanische Verrückungen der Muskeln Be-

wegungen der Magnetsadel nicht bewirken, oder höchstens ganz kleine, und übrigens in wechselndem Sinne.

Beclard (5) führte myothermische Untersuchungen aus theils an Menschen, theils an Fröschen, jene mit Quecksilberthermometer äusserlich an der den Muskel deckenden Haut, diese mit Thermoadeln in die lebenden (durchbluteten) Muskeln eingestochen. Das Problem, dessen Lösung er anstrebte, nämlich das Verhältniss der mechanischen Arbeit des Muskels zu seiner Wärmelieferung, bietet noch in dieser Stunde unvermindertes Interesse dar, aber seine Beiträge zur Lösung sind in Folge der unentwickelten Beschaffenheit seiner Methoden nicht viel werth. Er bemerkt selbst unter Anderem, dass, wenn er die Muskeln in eine feuchte Kammer bringe, die Resultate nicht so deutlich erschienen.

Edw. Solger's Arbeit (6), welche wenig Neues in methodischer Hinsicht vorführte, ist dadurch von Interesse, dass dort der negative Vorschlag — eine schnell vorübergehende Abkühlung, welche der Wärmetönung bei der Reizung des Muskels vorangeht — und der positive Nachschlag — eine nach beendigter Reizung fordauernde Erwärmung — zuerst erwähnt werden.

Im folgenden Jahre erschien die Arbeit von Meyerstein und Thiry (7). Sie brauchten als Messinstrument ein Galvanometer von Meissner-Meyerstein, und so empfindlich soll die Aufstellung gewesen sein, dass ein Scalentheil des Ausschlages einer Temperaturdifferenz von 0.00239°C . entsprach. Ein Zehntel eines Scalentheiles konnten sie schätzen. Kammförmige Termosäulen aus Neusilber—Eisen wurden in überlebenden Muskeln — Froschgastrocnemius — eingestochen. Die Verfasser sahen, wie Solger, negative Vorschläge, die in ihren Versuchen um so viel grösser ausfielen, je weniger der Muskel belastet war. Obgleich die Empfindlichkeit der Aufstellung so hoch angegeben wurde, fanden sie nicht messbare Wärmemengen bei Einzelzuckungen. Erst nach 10 Secunden Tetanus erreichte der Wärmeausschlag die zur Messung verwendbare Grösse. Auch ist zu bemerken, dass, wenn der Muskel beim Tetanus unbelastet, belastet oder so befestigt war, dass er sich nicht zusammenziehen konnte, sie doch keinen deutlichen Unterschied der Erwärmung des Muskels fanden.

Die in den Versuchen dieser Verfasser eingeführten Vorrichtungen, welche den Zweck haben, die Thermosäule die Bewegungen der Muskeln mitmachen zu lassen, waren nicht besonders gut gewählt, da sie Verschiebungen zwischen Muskel und Säule nicht verhüten konnten und dabei auch Variationen des Widerstandes der Thermoleitung bewirkten, so dass dieser Widerstand gewiss oft viel grösser war, als

ihn die Verfasser bei Berechnung der Empfindlichkeit seiner Aufstellung geschätzt haben.

Im Jahre 1864 erschien die grösste, bemerkenswertheste Arbeit (8) auf diesem Gebiet, durch welche nicht nur die myothermische Methodik, sondern auch die ganze, hier besprochene wissenschaftliche Frage einen bedeutenden Fortschritt machte.

Die Untersuchungen Heidenhain's wurden an überlebenden Froschmuskeln (Gastrocnemius) ausgeführt, die vom Nerven aus gereizt wurden. Die Wärme maass er mit thermoelektrischer Messmethode. Die Thermosäule war eine kleine Melloni'sche Würfelsäule aus Wismuth-Antimon, welche an einem beweglichen Gerüste¹ befestigt war und die Lothstelle der einen Seite an die Oberfläche des Muskels lehnte. Ueberdies war sie mit Nadeln an dem Muskel festgesteckt. Die Lothstellen der anderen Seite der Säule waren mit einem Bausch aus feuchtem Fliespapier zugedeckt. Das Ganze sammt Reizelektroden war übrigens in einer feuchten Kammer eingeschlossen, durch deren Boden die elektrischen Leitungsdrähte und ein Faden von dem Muskel zum Längenschreiber (Pflüger's Myographhebel) eingeführt wurden.

Als Messinstrument für die Thermostrome benutzte Heidenhain ein Spiegelgalvanometer Wiedemann's, den er doch ein wenig modificirt hatte, um seine Empfindlichkeit zu vermehren. Die Aufstellung war so empfindlich, dass ein Scalentheil des Ausschlages einer Temperaturdifferenz zwischen den Löthstellen von 0.0005° C. entsprach, und da halbe Scalentheile sicher abzulesen waren, konnte also das Viertel eines Tausendstel Grades Celsius gemessen werden.

Den naheliegenden Einwand, dass die geringen Wärmeausschläge des Galvanometers bei den Einzelzuckungen von der Reibung des Muskels an der Thermosäule herzuleiten waren, findet Heidenhain ein für alle Mal durch folgende Beobachtungen beseitigt (S. 74). „Erstens fährt die Erwärmung nicht fort, wenn man den vom Nerven aus gereizten Muskel sich zu verkürzen verhindert. Zweitens habe ich wiederholt folgenden schlagenden Controlversuch angestellt. Ich befestigte an der Klammer I zwei Wadenmuskeln unter einander, den unteren an der Achillessehne des oberen. Der untere wird, ganz als sollte er zu einem gewöhnlichen Versuche dienen, mit seiner Tibialfläche an die Säule angelegt und mit einem Gewichte belastet. Aber er wird nicht selbst

¹ Dieses Gerüst war aus Metallstäbchen hergestellt, welche zu einem doppelten Parallelogramm gelenkig verbunden waren und die trügen Massen, die der Muskel bei den Zuckungen in Bewegung zu setzen hatte, nicht unerheblich vermehrten.

gereizt, sondern der obere durch Reizung seines Nerven zu Zusammenziehungen veranlasst. Dieser zieht dann bei jeder Zuckung den unteren auf der Säule hin und her. Um die Reibung dabei zu vergrössern, stellte ich die Säule unverrückbar fest und fixirte den Muskel nicht auf dem Korkrahmen. Trotzdem habe ich selbst bei 40 auf einander folgenden Zuckungen noch keinen Wärmeeffect beobachtet. Einige Male zeigte im Gegentheil die Boussole Anfangs einen Ausschlag im Sinne einer Abkühlung“. Diese Abkühlung leitet Heidenhain von dem Umstande ab, dass der Muskel aus naheliegenden Gründen immer ein wenig kälter als die ihn umgebende Luft war. Er nimmt sehr allmählich die Temperatur derselben an, am schnellsten an den Punkten, welche mit den metallischen Thermoelementen in Berührung stehen. Bei diesem Versuche verlässt die Thermosäule die von ihr erwärmten Punkte und kommt mit weniger warmen in Berührung.

Heidenhain bekam mit seinem Apparate für einzelne Muskelzuckungen Ausschläge, welche nach den Umständen zwischen 2 und 10 Scalengraden wechselten, was $0.001 - 0.005^{\circ} \text{ C.}$ entsprach.

Unter den Resultaten Heidenhain's will ich hervorheben, dass er keine erwähnenswerthen thermischen Wirkungen von Muskeldehnungen beobachtete, und dass die von Solger und Meyerstein und Thiry beobachteten negativen Wärmeschwankungen davon herrührten, dass die Thermosäule bei der Zuckung mit anderen Theilen des Muskels in Berührung kommt, welche Theile in Folge der Wasserverdunstung von der freien Oberfläche des Muskels kälter waren, während die Theile des Muskels, welche die Säule vor der Zuckung berührten, gegen Abdunstung geschützt waren und deshalb eine der der umgebenden Luft näher liegende Temperatur annahmen.

Interessant ist übrigens, dass Heidenhain bei seinen Untersuchungen über das Verhältniss der mechanischen Leistungen des Muskels zu den thermischen von der vorgefassten Meinung ausging, dass der Energieumsatz in der Zusammenziehung des Muskels bei unverändertem Reize auch unverändert bleiben sollte, und um so mehr davon in der Wärmeform zum Vorschein kommen müsste, je weniger in der Form mechanischer Arbeit erschien. Nun waren freilich die Einrichtungen, um die Muskelarbeit zu messen, ganz ungenügend. Aber dies bedeutet wenig, weil dieselbe Arbeit in Heidenhain's Versuchen gleich wieder zu Wärme im Muskel umgesetzt wurde; wenigstens ist es sehr wahrscheinlich, dass es so geschehen ist mit dem allergrössten Theil der Arbeit. Folglich wäre den Versuchsbedingungen gemäss zu warten, dass die Temperaturausschläge bei allen Versuchen mit un-

verändertem Reize gleich ausfallen sollten und unabhängig von den Belastungsverhältnissen u. s. w. während der Zusammenziehung. Heidenhain bekam aber ganz andere Resultate.

Er fand ebenso einen Einfluss der Ermüdung des Muskels auf die Wärmeentwicklung bei den Zuckungen. „Mit fortschreitender Ermüdung sinkt die Wärmeentwicklung schneller als die Arbeit“ . . . „Die Ermüdung kann sich bereits in einem Sinken der Wärmeentwicklung geltend machen, bevor sie noch an einem Sinken der Arbeit merklich wird.“ Bei sehr hohen Ermüdungsgraden wurde die Temperaturerhöhung für seine Apparate unmessbar, während die Arbeit noch keineswegs verschwindende Werthe aufwies. — Es ist dies ein sehr beachtenswerther Fund, dass der Muskel mechanische Arbeit liefern kann bei so geringfügigem Energieumsatz, dass sie in Wärme überführt (?), nicht merkbar war.

Einer anderen eigenthümlichen Erscheinung begegnete Heidenhain, wie auch andere Verfasser vor und nach ihm, die nämlich, dass bei den ersten Zusammenziehungen nach einer längeren Ruhepause die Wärmeentwicklung nicht selten verhältnissmässig (mit der Arbeit verglichen) grösser ausfällt, als bei den unmittelbar darauf folgenden Zuckungen. Heidenhain lässt die Erscheinung ohne Erklärung oder nähere Beleuchtung.

Uebrigens hat Heidenhain viel Arbeit verwandt auf das Studium des Verhaltens der Wärmeentwicklung zur Arbeit bei Aenderung der Belastung zuckender oder tetanisirter Muskeln. Die wichtigsten Resultate sind in folgenden Sätzen zusammengefasst worden.

Wenn man den Muskel mit steigenden Gewichten vor oder während der Reizung belastet, so steigt bis zu einer gewissen Grenze gleichzeitig die mechanische Leistung und die Wärmeentwicklung desselben; jenseits jener Grenze nehmen beide ab, und zwar, sicher wenigstens bei Einzelzuckungen, die Wärmeentwicklung früher als die mechanische Leistung. Wenn der Muskel sich zu verkürzen verhindert wird (isometrische Zuckungen oder Tetanus nach Fick's Benennung), so steigt die Wärmeentwicklung mit der Anfangsspannung und wird grösser, als wenn es dem Muskel gestattet wird, sich von derselben Anfangsspannung zu verkürzen. Auch hier giebt es ein Optimum, jenseits dessen die Erscheinungen sich umgekehrt verhalten.

Endlich ist zu bemerken, dass diese Arbeit auch Versuche umfasst, welche dahin zielen, den Stoffumsatz bei der Muskelwirksamkeit unter verschiedenen Verhältnissen nach der grösseren oder kleineren Menge im Muskel entwickelter Säure zu bestimmen. Diese Versuche

gaben Heidenhain Resultate, welche mit den schon referirten gut stimmten.

Im Jahre 1865 publicirte Paul Dupuy (9) seine nach Beclard'schem Muster erfolgten Untersuchungen, welche doch keineswegs zu den von Beclard gefundenen Resultaten führten. Sie haben ihre Bedeutung wesentlich deswegen, dass sie die Unzulänglichkeit der angewendeten Methode für solche Untersuchungen noch weiter bestätigten.

Westermann's (10) Dissertation ist auch wesentlich für die Methodik von Interesse. Er brauchte eine Heidenhain's Säule ähnliche, aber nach Westermann's Schätzung 8 Mal empfindlichere Aufstellung. Er bekam, als er wie Heidenhain die Säule gegen den Muskel reiben liess, nur geringfügige Ausschläge. Dagegen bekam er Wärmeausschläge bei der Dehnung des Muskels, keine aber wenn er einen Zwirnbau auf dieselbe Weise wie den Muskel behandelte, „während seine Reibung an der Säule nur ein Weniges geringer ist, als die des Muskels“. Dehnte er den Muskel in trockener Kammer, so wurde der Ausschlag viele Mal grösser als in feuchter Kammer. Westermann hat Ausschläge bis 658^{mm} verzeichnet (S. 44), und zwar bei Belastung eines feuchten todten Muskels in trockener Kammer mit einem Gewicht von 200^g.

Valentin (11) hat einen kurzen Bericht über hierhergehörige Untersuchungen erstattet. Sie wurden auch an überlebenden Froschmuskeln mit Thermoadeln aus Eisen — Neusilber und mit Spiegelgalvanometer ausgeführt. Seine Aufstellung war so empfindlich, dass die Ausschläge reducirt werden mussten, indem ein Shunt aus Neusilberdraht angebracht wurde. Diese übermässige Empfindlichkeit ist jedoch mehr scheinbar und kommt wesentlich von dem grossen Scalenabstande — 5.5^{mm} — her. In Versuchen mit 30 Secunden Tetanus bekam er Ausschläge, welche einer Erwärmung von 0.05—0.17° C. entsprachen. Er arbeitete dann mit so grosser Empfindlichkeit, dass ein Scalentheil des Ausschlages eine Temperaturdifferenz von 0.047° C. anzeigte.

Im folgenden Jahre erschien die erste Arbeit A. Fick's (12) auf diesem Gebiet. Bei seinen ersten Versuchen brauchte er Heidenhain's Säule, einen gut astatisirten Galvanometer nach Meyerstein, aber etwas empfindlichere Aufstellung als Heidenhain. Fick beobachtete damals auch die öfters besprochene „negative Wärmeschwankung“ und bemerkt in einer Note, dass er Heidenhain's Meinung, es handle sich um einen blossen Fehler, doch nicht theilen kann. Uebrigens bezwecken diese Untersuchungen nichts weniger als das Verhältniss des totalen Energieumsatzes zu der nützlichen Arbeit bei Muskelzuckungen zu bestimmen. Fick kommt später und mit viel

besseren Mitteln zu demselben Problem zurück, weshalb das schon Angedeutete hier genügen möge.

Diese Fick'sche Arbeit giebt aber Heidenhain Veranlassung, neue Versuche (13) anzustellen, durch welche er glaubt gezeigt zu haben, dass, wenn der Muskel im Stadium der Wiederausdehnung ungespannt ist, der Energieumsatz kleiner wird, als wenn er auch während dieses Stadiums der Zuckung belastet bleibt. In jenem Falle sollte die Menge producirtter Säure kleiner werden und die Zuckungen weniger ermüdend wirken. Die Ergebnisse seiner Versuche beweisen in der That ziemlich wenig. Von den Versuchen über die Säurebildung gaben nur 66 % (38 von 57) positiven Ausschlag, und von den Versuchen, wo die Belastung mehr als 90° war, gaben sogar nur 40 % positiven Ausschlag. Der Einfluss auf die Ermüdung wird nur in zwei Versuchen gezeigt, und gegen die Technik dieser Versuche können übrigens gut begründete Einwände erhoben werden.

Fick geht in seiner nächsten Arbeit (14) von der Annahme aus, dass im Verkürzungsstadium ein chemischer Process abläuft, der theils mechanische Arbeit, theils Wärme abgiebt, und dass ein neuer chemischer Process während der Wiederausdehnung dazu kommt, welcher auch Wärme frei macht. Er fragt, ob Wärme auch im Laufe des Tetanus frei wird. Seine Versuche bestätigten dies, aber sie zeigten ausserdem, dass die frei gemachte Wärmemenge kleiner war als in dem Stadium der Gestaltveränderungen. Die Tetanuswärme stieg mit der Intensität und Frequenz der Reizung, so lange der mechanische Effect auch wuchs. Doch bekam er bei sehr grosser Häufigkeit der Reizanstösse Wärmemengen, welche die bei einer raschen Folge getrennter Zuckungen entstandenen sogar überstiegen; und bei isometrisch verlaufendem Tetanus wuchs die Muskeltemperatur mit der Reizfrequenz in infinitum. — Fick sah die Wärmeausschläge noch immer anwachsen zu einer Zeit, wo längst die Reizung des Muskels vorüber war, was ihn zu theoretischen Erörterungen über eine womöglich existirende, von der Ermüdung beeinflusste Nachwärmung veranlasste.

J. Steiner (15) arbeitete mit Heidenhain's Säule, aber mit einem viel empfindlicheren Galvanometer, so dass er bei einer Secunde Tetanus eines mit 10° gespannten Muskels einen Ausschlag von 70 Scalentheilen bekam, wenn der Muskel auf der Contractionshöhe entlastet wurde, und bisweilen 130 Scalentheile erreichte, wenn die Spannung dagegen auf der Höhe mit 30° vermehrt wurde. Er liess nämlich den Muskel sich mit schwacher oder keiner Belastung zusammenziehen, und mit oder ohne Last sich wieder ausdehnen, indem er den Muskel auf dem Höhepunkte entlastete oder noch weiter belastete, und be-

obachtete in diesem Falle mehr Wärme (Maximum bei 60° Belastung). Bei Dehnung des ruhenden Muskels kein Wärmeausschlag. — Steiner theilt selbst mit, dass er bisweilen durch abnorme Ausschläge gestört wurde, welche er doch schliesslich zu beherrschen lernte (aber nicht zu erklären?).

J. Nawalichin (16) arbeitete auch mit Heidenhain's Apparat. Er bemerkt, dass die Wanderungen des Nullpunktes der Magnetonadel an manchen Tagen seine Beobachtungen störten. „Es bedarf des Zusammentreffens der günstigsten, dem Willen des Experimentators oft entrückten Bedingungen, um zu tadellosen und vertrauenswürdigen Beobachtungen zu gelangen, und es bedurfte für mich unverhältnissmässig langer Zeit, um trotz der vielfachen Schwierigkeiten die nothwendige Sicherheit in der Beurtheilung des Gesehenen zu erwerben“. Nur grosse Frösche „auf der höchsten Stufe der Erregbarkeit“ taugten für seine Versuche. „Merkwürdig genug, dass bei schlecht genährten Thieren die Wärmeproduction des Muskeln verhältnissmässig viel stärker zu sinken scheint, als ihre mechanische Leistungsfähigkeit —, wie ja bekanntlich für die Ernährung dasselbe gilt.“ Daher fand er, dass 1. die Wärmeproduction mit der Hubhöhe aber viel schneller als diese wächst. NB. es war die Belastung constant, die Reizung variabel. 2. Doppeltreizungen (maximale) erhöhen nicht die Zuckungswärme, wenn die Reize so schnell einander folgen, dass die mechanische Arbeit nicht beeinflusst wird. Daraus schliesst Nawalichin, dass die Wärmeproduction nicht während des Stadiums der latenten Reizung stattfindet. 3. Wenn der Myographionhebel, an welchem das Gewicht hängt, zwischen den einzelnen Zuckungsversuchen successive um kleine Grössen gehoben und dann unterstützt wird, so entwickelt der Muskel um so weniger Wärme, je geringer seine Spannung vor der Thätigkeit war — und, möchte ich hinzufügen, je geringer seine Länge bei beginnender Hebung der Last ist. 4. Die Versuche mit variirender Ueberlast fielen so aus, dass in einigen Fällen die Zuckungswärme mit der Grösse der Ueberlast wuchs, aber „so glatt verlaufen bei diesen Beobachtungsreihen nicht alle Versuche. Der Einfluss der Spannungsänderung während der Thätigkeit ist viel geringer als der Einfluss der gleichen Aenderung vor Beginn der Thätigkeit, deshalb sinkt jener Einfluss mitunter in die Grösse der unvermeidlichen Versuchsfehler“. 5. Das beschleunigte Anwachsen der Wärmeproduction des Muskels ist nicht aus einer Verlängerung des zeitlichen Verlaufes der Zuckung ableitbar, denn die Verlängerungszeit ändert sich mit der Reizgrösse nicht.

Im Jahre 1878 führte Fick (17) einige wesentliche Verbesserungen

der myothermischen Methode herbei, welche sicherlich nicht wenig beigetragen hat, neue Versuche auf diesem Gebiete hervorzurufen. Anstatt die Thermosäule gegen die Oberfläche des Muskels zu legen, änderte er die Form der Säule so, dass die dünnen Löthstellen in einer einfachen gedrängten Reihe über einander lagen und zwischen zwei an einander liegenden Muskeln versenkt werden konnten. Die 6- bis 12gliedrigen Säulen waren aus Eisen—Neusilber hergestellt, und so schwach als nur möglich, damit sie die Temperatur der umgebenden Muskeln schnell annehmen können. Um der Säule die Beweglichkeit zu geben, welche nöthig war, damit sie den Excursionen der Muskeln folgen könne, tauchten die Enddrähte der Säule in Quecksilbernapfchen, welche mit den Leitungsdrähten zum Galvanometer verbunden waren. Der Galvanometer war auch neu. Ein fester Astatisirungsmagnet war nicht vorhanden, sondern ein astatistisches Nadelpaar, damit die Empfindlichkeit nicht von den Variationen des Erdmagnetismus beeinflusst werden sollte und über längere Zeitperioden constant bleibe. Dagegen wurde die Aperiodicität als weniger wichtig geopfert.

Die Empfindlichkeit der Aufstellung war so gross, dass eine Mittelablenkung von einem Scalentheile eine Temperaturdifferenz von 0.000314 bzw. 0.000329 ° C. für zwei von den öfters gebrauchten Säulen entsprach. Da nun anzunehmen war, dass die zwischen den Muskeln versenkten Löthstellen dieselbe Temperatur wie diese Muskeln haben sollten, meinte Fick aus der Grösse der Ablenkungen und der specifischen Wärme der Muskelsubstanz die für jedes Gramm Muskel freigemachte Wärmemenge berechnen zu können. Auf solche Weise berechnete er, dass 1st lebenskräftiger Froschmuskel bei energischer Zuckung gegen grossen Widerstand eine Wärmemenge frei machte, die genügte, um 3^{ms} Wasser von 0—1° C. zu erwärmen (3 Mikrocalorien). Unter den übrigen Folgerungen wäre zu nennen, dass, wenn er das Muskelpräparat direct durch Inductionsschläge reizte, diese keine merkbare oder störende Erwärmung der Muskeln bewirkten; weiter, dass der Muskel, wenn der Widerstand zunahm, nicht nur energischer, sondern auch ökonomischer, d. h. im Verhältniss zur mechanischen Leistung mit kleiner Wärmeproduction arbeitete. Der mechanische Effect konnte unter günstigen Umständen bis zu einem Viertel der ganzen umgesetzten Energie steigen.

Die nächste Arbeit auf diesem Gebiete kommt auch aus Fick's Laboratorium, wo nun Danilewsky (17) einige Untersuchungen mit den Fick'schen Apparaten durchgeführt hat. Danilewsky erachtet seine Aufstellung so empfindlich, dass er, indem er $\frac{1}{4}$ Scalentheile schätzte, Temperaturdifferenzen von 0.00003 ° C. beobachten konnte.

Durch Einführung von Widerständen in der Thermoleitung ermässigte er die Empfindlichkeit zu $0.00016—0.015^{\circ}\text{C.}$ per Scalenthail. Dabei sorgte er dafür, dass die Kammer gut gefeuchtet wurde. Danilewsky bestimmte die Erwärmung „von Kautschukstreifen und Muskeln durch Erschütterungen“, d. h. sehr kurzdauernden Dehnungen. In solchen Versuchen wird ohne Zweifel nicht die ganze Dehnungsarbeit zur Erwärmung des Kautschuks bzw. Muskels verbraucht. Gleichwohl wird die aus seinen Versuchen mit Kautschuk berechnete Grösse des mechanischen Wärmeäquivalentes oft kleiner als 430, was in der einen Versuchsreihe sogar der Durchschnittswerth war und auffallend erscheint. Auch bei den Muskelversuchen wird J bisweilen kleiner als 425, doch öfters 500—600. In einigen Versuchen, wo ein Kautschukstreifen zwischen Muskel und dehnendes Gewicht eingeschoben war, gab die Fallarbeit gar keine Erwärmung des Muskels, sondern es sollte dann alle Wärme im Kautschukstreifen frei geworden sein. In einigen Versuchen ist bemerkt worden, dass die mehr oder weniger bedeutende bleibende Ausdehnung des Muskels besonders bei den ersten Erschütterungen und nach langen Pausen von sehr grossen Wärmeausschlägen begleitet wurde, so dass J , nach diesen Versuchen berechnet, auf 201, 226, 133 und sogar 70 heruntergehen sollte. Danilewsky nennt die sonderbare Erscheinung paradoxe Erwärmung und sucht sie auch zu erklären. Aber bei näherem Ansehen eines als Muster angeführten Versuchsprotokolles zeigt es sich, dass die grössten Ausschläge nicht von einer entsprechenden Erwärmung des Muskels herrühren können.

Danilewsky bekommt bei einfachen Zuckungen (ohne nützliche Arbeit) gegen träge Massen Ausschläge, die bis zu 30 Scalenthailen stiegen, einer Erwärmung von 0.0035°C. entsprechend; in einer späteren Abhandlung wachsen die Ausschläge bis zu 40—60 Scalenthailen oder 0.1° (0.092°) C., was beinahe 9 Mikrocalorien per Gramm Muskel ergibt. In einem Versuche mit zeitstarrem Muskel notirt er Dehnungswärme von 27 Mikrocalorien per Gramm Muskel.

Seine Präparate producirten bei isometrischen Zuckungen mehr Wärme, je stärker sie gereizt wurden. Bei subminimaler Reizung producirten sie auch Wärme. Mit Recht kann man hier fragen, ob Danilewsky genügend Sorge getragen hat, um den Einfluss der Reizströme und Elektromagnete zu verhüten u. s. w.

Weiter findet er, dass der Muskel bei schwachem Reize mehr ökonomisch arbeitet als bei starkem. Bis 44 % der umgewandelten Energie hat Danilewsky in der Form mechanischer Arbeit bekommen, und er glaubt, dass, wenn er nicht träge Massen mit gehabt hätte, er 50 % oder mehr könnte bekommen haben.

Ein paar andere, nicht ganz unwichtige Aufschlüsse giebt uns Danilewsky, indem er zwischen mehr „zuverlässigen“ und weniger „zuverlässigen Versuchen“ scheidet und bemerkt, dass jede Manipulation, die von einer Bewegung des Muskels begleitet wird, Schwingungen des Magnets hervorruft.

Endlich ist zu erwähnen, dass Danilewsky auch eine Erwärmung des Froschmagens selbst bei Reizung mit einfachen, ziemlich schwachen Inductionsschlägen — noch mehr natürlich bei Tetanus — aufzeigen konnte.

Besonders grosses Interesse bieten Meade-Smith's (19 und 22) Untersuchungen dar. Sie wurden an Hunden und Kaninchen mit Quecksilberthermometern ausgeführt, welche er in die Blutgefässe so eingefügt hatte, dass er die Temperatur (mit einer Genauigkeit von 0.01°C.) des dem Muskel zu- und abfliessenden Blutes ablesen konnte. In einigen Versuchen wurden die Muskeln durch die eigene Fürsorge des Organismus durchblutet, in anderen Versuchen durch künstliche Mittel, und in einer dritten Versuchsreihe war die Circulation in den Muskeln aufgehoben. In allen Versuchen wurde bei Tetanisirung der Muskeln eine deutliche Wärmesteigerung beobachtet, welche von einer Wärmeproduction in den Muskeln wenigstens in allen den Fällen herzuleiten war, in welchen die Temperatur der Muskeln oder des von ihnen abfliessenden Venenblutes höher war, als die des arteriellen Blutes. Sonderbarer Weise zeigte sich kein deutlicher Einfluss auf die Grösse der Wärmeproduction von grösserer oder kleinerer Belastung oder Verkürzung der Muskeln. In einem folgenden Aufsatze bespricht er den Einfluss der Circulation auf die Wärmeproduction. In seinen Versuchen gab der durchblutete Muskel immer viel mehr Wärme als der circulationslose.

Magnus Blix (20) arbeitete auch in Fick's Laboratorium und mit Fick's Apparaten. Die Aufstellung hatte eine solche Empfindlichkeit, dass ein Scalenteil $0.000147^{\circ}\text{C.}$ entsprach. Eine Zuckung ohne nützliche Arbeit gab Ausschläge von 18 bis 36 Scalentheile (bei 90° Belastung und mit trägen Massen) oder 0.002646 bis $0.005292^{\circ}\text{C.}$

Blix beobachtete Wärmeausschläge bei Dehnung, und mit den Dehnungen wachsend ganz wie Westermann. Wiederholte, kurzdauernde Dehnungen gaben ihm kleine, aber deutliche Wärmeausschläge, welche mit der zwischen der Belastungs- und Entlastungscurve in Folge der Nachdehnung eingeschlossenen Fläche (verlorene Arbeit) zusammengestellt wurde. Er constatirte auch den Einfluss der Feuchtigkeit auf die Grösse dieser Ausschläge (2 : 3). Die Wärmeausschläge nach einer Zuckung oder Dehnung erreichten ihr Maximum nach zwei

Oscillationen und sanken dann langsam herunter — bis etwa $\frac{3}{7}$ in einer Minute. Auch sah er den Muskel sich scheinbar abkühlen — bis 23 Scalentheile —, wenn er auf der Höhe der Zusammenziehung entlastet wurde, was wohl davon abzuleiten ist, dass die Thermosäule durch Verschiebung mit anderen, kälteren Theilen des Muskels in Berührung gekommen ist. Dasselbe gilt wahrscheinlich von den meisten Dehnungsausschlägen und hat wohl oft auch auf die anderen Versuchsergebnisse eingewirkt.

Es folgen jetzt zwei Arbeiten von Fick (21 und 22), welche in theoretischer Hinsicht wichtige Fragen berühren. Zu endgültiger Entscheidung der aufgestellten Fragen führten diese Untersuchungen, genauer geprüft, kaum. Die Methodik ist treffend, die Wärmebestimmung unverändert.

Ugolino Mosso (24) maass mit Thermometern, welche in 50stel Grade getheilt waren, die Temperatursteigerung der den Thermometer umgebenden gereizten Froschmuskeln, wobei er fand, dass die Temperatursteigerung ebensowohl nach wie während der Reizung eintreten kann.

Weiter hat er die Körpertemperatur an Hunden und an sich selbst während und nach anhaltender Arbeit gemessen, da er sich aber nicht über den Wärmeverlust erkundigt hat, haben diese Messungen für die Bestimmung der Wärmeproduction wenig zu bedeuten.

Endlich glaubt Mosso beobachtet zu haben, dass strychninisirte Frösche Anfangs mehr Wärme produciren, auch ohne sichtbare Muskelthätigkeit in Folge gesteigerter Reizbarkeit der Nerven (?). Curarisirte Frösche zeigen nach dem ersten Stadium vermehrter, ein zweites Stadium verminderter Wärmeproduction. Wenn Frösche in diesem Stadium mit Essigsäure gereizt werden, steigt die Wärmeproduction wieder an — ebenso wenn sie in diesem Stadium strychninisirt werden, und zwar ohne dass Spuren von Bewegungen der Frösche sichtbar werden. Curarisirte Hunde zeigten eine Temperaturerhöhung bis 3°C ., weshalb eine gesteigerte Wärmeproduction auch hier dem Verfasser wahrscheinlich vorkommt. Diese Untersuchungen streifen hart an die wichtige Frage einer von der Muskelzusammenziehung durchaus unabhängigen Wärmeproduction des Muskels und verdienen unzweifelhaft nähere Beachtung.

Lukjanow (25) führte Meade-Smith's Untersuchungen in Ludwig's Laboratorium weiter. Seine Thermometer waren in 0.1°C . getheilt, mittels der Lupe konnten dann 0.05 bis 0.01°C . und ganz sicher 0.1°C . abgelesen werden. — Die Temperaturerhöhung ging bei einer Zuckung eines warmblütigen, circulationslosen Muskels bis auf 0.001 bis 0.0042° . Die grösste Temperatursteigerung zeigten solche Muskeln nach 1200 bis 1400 Zuckungen, und zwar 1.15°C . oder

1 Grammcallee für 1st Muskelsubstanz. — Im Tetanus gab jede Reizung weniger Wärme als bei einzelnen, auch superponirten Zuckungen. Je schneller die Reize einander folgten, um so viel weniger wurde der Wärmeeffect jedes Reizes, wenn die Reize nicht in gar zu grossen Intervallen (z. B. 1 Secunde) fielen. In durchbluteten Muskeln könnte die Temperatur stundenlang anwachsen und mehrere Grade erreichen ungeachtet der Abkühlung durch das kältere Arterienblut. In nicht durchbluteten Muskeln wurde die Temperaturerhöhung viel geringer und hörte nach wenigen Minuten auf. Wie aus Meade-Smith's, so ging auch aus mehreren Versuchen Lukjanow's hervor, dass die Belastung auf die Zuckungswärme keinen Einfluss ausübte. Andere seiner Versuche deuten ein entgegengesetztes Verhältniss an. — Auch Kröten- und Froschmuskeln machten, wenn sie mehr (300 bis 1300 Mal) gereizt wurden, an seinem Thermometer sichtbare Wärmemengen frei, z. B. 0.55° C. nach 300 Reizen. Die Krötenmuskeln ermüdeten dabei später, Wärme zu produciren, als die Froschmuskeln. — Ermüdete Hundemuskeln hören auf, messbare Wärmemengen zu liefern, ehe die Arbeitsfähigkeit erschöpft ist. Indessen schliesst Lukjanow seine Arbeit mit der Bemerkung, dass die Methode vielfache Verbesserungen erfordere.

Starke (26) arbeitete in Ludwig's Laboratorium mit Fick's Säule über den Einfluss träger Massen auf die Arbeit und Wärmeproduction des Muskels. Die Thermoströme maass er mit einem Spiegelgalvanometer nach F. Kohlrausch und die Empfindlichkeit der Aufstellung war so gross, dass ein halber Scalentheil des Ausschlages, der mit Sicherheit abzulesen war, 0.00007° C. entsprach. Eine einfache Zuckung eines Froschmuskels gab einen Ausschlag von 4 bis 30 gewöhnlich zwischen 10 und 20 Scalentheilen, also eine Temperaturerhöhung von 0.00028° C. als Minimum und 0.0021° als Maximum.

Chauveau (27) suchte bei Homöothermen an Muskeln in situ und möglichst physiologischen Verhältnissen sowohl den Gaswechsel und die Glykogenaufnahme, als auch die Temperaturverhältnisse zu bestimmen, nicht nur im Muskel selbst, sondern auch in dem zu- und abfliessenden Blute und an der überdeckenden Haut (beim Menschen). Die Temperaturwechsel studirte er vermittelst Thermonadeln, die in ein paar symmetrischen Muskeln eingesteckt waren, von diesen war der eine durch Nervenschnitt paralysirt, während der andere seine physiologische Function vollführte oder durch von aussen zugeführte Reize in Thätigkeit versetzt wurde. Auch hat er mit seinem Thermometer, an welchem er 0.001° C. schätzen konnte, Muskeltemperaturbestimmungen vorgenommen. Bei Hunden sah er erst Ab-

kühlung während ein paar Minuten, oder so lange die Zusammenziehung dauerte, dann eine Temperatursteigerung, welche nach 6 bis 10 Minuten ihr Maximum erreichte. Die Ergebnisse sind sehr unzuverlässig wegen der vielfachen Complicationen, vor allen Dingen wegen der unbeständigen und ganz unberechenbaren Reizintensitäten, was auch eine Vergleichung mit den Versuchsergebnissen anderer Forscher unausführbar macht. So viel scheint aber aus diesen Versuchen hervorzugehen, dass der Austausch der Respirationsorgane und die Aufnahme des Glykogens während und nach der Arbeit etwas lebhafter ist als im paralysirten Muskel, gleichviel, ob die Muskelarbeit einen nützlichen Effect brachte, oder nicht.

Ob die mit dem Thermometer an der Hautoberfläche beobachteten Temperaturen von der Wärmeproduction der unterliegenden Muskeln direct abhängen, muss sehr in Abrede gestellt werden. Näher liegt es ja, die hier constatirten Temperaturveränderungen auf Aenderungen in den Circulationsverhältnissen zu beziehen.

Fritz Schenck (28) gehört Fick's Schülerkreise an. Er brauchte eine 16 gliedrige, 1^{cm} hohe Säule, ohne damit die Empfindlichkeit weiter zu treiben als mit Fick's 10 gliedriger, was er dem vermehrten Leitungswiderstande zuschreibt. Ein Scalentheil entsprach 0.0003° C. Einfache Zuckungen gaben Ausschläge von 6 bis 30 (63!) Scalentheilen, also 0.0018 bis 0.009° C. Schenck wiederholte Fick's Versuche, die Wärme der Schleuderzuckungen und der isometrischen Zuckungen mit einander zu vergleichen. Die Ergebnisse zeigten nicht völlige Uebereinstimmung.

Wesentlich neue Gesichtspunkte brachte Fick's nächste Arbeit (29) Der wärmemessende Apparat war unverändert und 1 Scalentheil entsprach 0.00036° C.

Mit Blix' Muskelindicator wurden tetanisirte Froschmuskeln belastet oder entlastet, und wurde die Wärme bei den Entlastungsversuchen grösser gefunden als bei den Belastungen, besonders wenn das Wärmeäquivalent des mechanischen Effectes algebraisch hinzuaddirt wurde. Wird ein vollständiger Cirkelprocess mit Belastung und Entlastung oder umgekehrt mit vorausgehender Entlastung und nachfolgender Belastung durchgemacht, so wird die Wärmemenge in diesem Falle grösser (bis das Doppelte). Fick folgert daraus, dass es die Arbeitsleistung des Muskels ist, die den Verbrauch seiner chemischen Energie fördert. Die Unterhaltung der Spannung ohne Verkürzung oder Verkürzung ohne Spannung erfordern, meint er, weniger Energieumwandlung als die Erzeugung mechanischer Arbeit. — Folglich müsste auch ein Tetanus mit Entlastung mehr Wärme geben als ein

isometrisch verlaufender Tetanus. Fick's Versuche zeigten aber nicht den erwarteten Unterschied, was er dem Umstande zuschreibt, dass er die Entlastung zu schnell durchgeführt hatte, so dass der Muskel eine Zeit lang in unbelastetem Tetanus verharrt und in dieser Zeit weniger Wärme geliefert hatte, als im isometrischen Tetanus mit seiner weit grösseren Spannung. Die Ergebnisse der Cirkelversuche nöthigten ihn zu der Annahme, dass der Muskel bei spannungsloser Zusammenziehung zu einem kurzen elastischen Strang umgewandelt wird, welcher sich zu dehnenden Kräften wie ein Kautschukstrang verhält, ohne — oder allerdings mit weit geringerem Umsatz chemischer Kräfte als es stattfindet, wenn der ruhende Muskel zur Hebung einer Last erregt wird.

Die nächste Arbeit aus Fick's Laboratorium ist von Fritz Schenck und Gustav Brandt (30) und berichtet über die eingehenden Untersuchungen dieser Herren, um die Wärmeproduction superponirter Zuckungen klar zu legen. Sie haben nicht Veranlassung gefunden, an der Fick'schen Wärmemessungsmethodik etwas abzuändern.

In mancher Beziehung beachtenswerth ist eine Arbeit von Rudolf Metzner (31) aus dem Freiburger Laboratorium. Er benutzte eine Fick'sche Säule, verbunden mit einem Spiegelgalvanometer nach Thomson von Elliot Bross. Der Widerstand im Galvanometer war $2 \cdot 17 \text{ cm}$. Die Empfindlichkeit reducirte er dadurch, dass er den Astatisirungsmagnet (180°) umkehrte, so dass dieser die Richtkraft des Erdmagnetismus auf das Nadelsystem unterstützte, anstatt entgegenzuwirken. Ein anderer beweglicher, unter dem Galvanometer angebrachter Magnet diente dazu, den Index (Spiegelbild) in das Gebiet der Scala zu bringen. Ein Scalentheil entsprach $0 \cdot 000272$ bis $0 \cdot 001^\circ \text{C}$. Der Muskel war immer kälter als die freien Löthstellen der Säule, weil die Kammer nicht luftdicht geschlossen und also nicht ganz mit Feuchtigkeit gesättigt war.

Einfache Zuckungen gaben 1·5 bis 34 Scalentheile als Ausschlag. Einige Untersuchungen bezweckten, die Frage zu beantworten, ob die Natur des Reizes als Zeit- oder Momentreiz auf die Wärmeproduction einwirkte. Diese Frage wurde doch nicht völlig erledigt. Andere Versuche beabsichtigten das Verhältniss der Arbeit zur Wärme zu bestimmen, welches bei abnehmender Reizstärke zuzunehmen schien (Nawalichin), was aber nicht immer zutraf, wenn man nicht die von den elastischen Kräften verrichtete Arbeit abrechnete. Für maximale Zuckungen war das Verhältniss Arbeit : Wärme = $0 \cdot 5$ bis 1 . Metzner sah den Muskel sich bei Dehnung erwärmen und bei Entlastung erkalten, und zwar letzteres in dem Maasse, dass die Abkühlung in einigen Zuckungen mit Entlastung die Zuckungswärme mehr

als decken konnte. Er sah auch die „negative Wärmeschwankung“ besonders in den Versuchen mit Zeitreizen und meint dies aus ungleicher Zusammenziehung der verschiedenen Muskelfibrillen, wodurch einige entlastet, also abgekühlt werden, erklären zu können.

Metzner fasst seine Ergebnisse so zusammen: „Die Wärmeproduction im Muskel ist keine eindeutige Function der äusserlich wahrnehmbaren mechanischen Verhältnisse der Thätigkeit.“ Uebrigens wird folgende beachtenswerthe Alternative aufgestellt: Sind Arbeit und Wärme Producte von zwei verschiedenen Processen im Muskel, oder arbeiten die einen Fasern des Muskels mit mehr, die anderen mit weniger Wärmeentwicklung?

In der nächsten Arbeit — von A. Fick (32) — wird als Resultat notirt: „Bei isometrischem Tetanus wächst alles Uebrige gleichgesetzt mit wachsender Reizstärke, der Stoffumsatz mehr als die Spannung. Bei isometrischem Tetanus ist zur Aufrechterhaltung eines bestimmten Spannungsgrades um so mehr Stoffumsatz erforderlich, je kürzer der Muskel ist.“ Dabei ist nun zu bemerken, dass hier die Länge des Muskels sich im Vordergrund als für den Stoffumsatz bei der Arbeit bestimmend hervordrängt. Vorher dachte man nie an die Länge, nur an die Spannung.

Die jüngsten aus Fick's Laboratorium auf diesem Gebiete hervorgegangenen Arbeiten von Fr. Schenck und Hermann Greife (33 und 34) nehmen wieder die Frage auf von der Muskelwärme bei isometrischen und isotonischen Zuckungen oder Tetanus und ihre Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen und Reizstärken.

Eine in experimentalkritischer Hinsicht sehr schätzenswerthe Arbeit, freilich nicht dem Gebiete der Muskelphysik angehörend, aber dem nächststehenden, der Nervenphysik, muss hier auch Erwähnung finden. Wie die Metzner'sche kommt auch diese aus dem Freiburger Laboratorium, wo sie von M. Cremer (35) mit denselben technischen Hilfsmitteln, welche Metzner brauchte, ausgeführt wurde. Die Empfindlichkeit der Aufstellung wurde doch viel höher eingestellt, in einigen Versuchen so hoch, dass man 0.00001° C. ablesen konnte. Das Ergebniss der Untersuchungen, dass die Wirksamkeit der Nerven nicht mit sichtbarer Erwärmung verbunden sei, hat ja ein grosses theoretisches Interesse.

Und für das Studium der Muskelwärme ist das Vorhandensein einer Menge Vorsichtsmaassregeln, welche hierher gehörige Versuche erfordern, von ungemein grosser Bedeutung.

Endlich bleibt nur noch übrig, eine neue Arbeit von Chauveau (36) zu erwähnen, in welcher er über seine Versuche, die in Helmholtz'

und Fick's Laboratorien auf dem vorliegenden Gebiete ausgeführten Arbeiten nachzumachen, berichtet. Er benutzte eine zweigliedrige Thermo- oder Galvanonadel aus Eisen — Neusilber — Eisen —, welche durch die zwei Gastrocnemiusmuskeln eines Frosches gesteckt wurden, so dass die beiden Löthstellen je in ihrem Muskel lagen. Die beiden Enden der Nadel wurden rechtwinklig umgebogen und in Quecksilbernäpfchen eingetaucht, die im Galvanometerkreise standen. Von der Empfindlichkeit der Aufstellung kann man möglicher Weise daraus urtheilen, dass, wenn er den einen Muskel zwei Secunden lang tetanisirte, er solche Ausschläge bekam, dass die wenigen, als Beispiele angeführten Durchschnittszahlen sich zwischen 4 und 19 Scalentheilen halten. Sie kann also nicht besonders hoch gewesen sein. Was er mit seinen Versuchen beabsichtigte, ist nicht ganz einleuchtend; vielleicht hängt das zusammen mit den Schwierigkeiten, welche die Technik geboten hat. Davon schreibt Chauveau: „Les résultats furent des plus intéressants, mais extraordinairement irréguliers et dissemblables“.

Aus dem, was ich hier referirt habe, ist zu ersehen, dass die principiell verschiedenen Methoden eigentlich ganz wenige sind. Man hat wohl auch bolometrische Einrichtungen für das Studium der Muskelwärme empfohlen, aber Niemand hat, so viel ich weiss, dergleichen Untersuchungen ernstlich durchgeführt, noch weniger publicirt. Den Grund dazu glaube ich während meiner experimentellen Untersuchungen gefunden zu haben und dürfte im Folgenden Veranlassung finden, diese Frage nochmals zu berühren.

Was nun die ziemlich variirenden Ergebnisse betrifft, ist es klar, dass ein Theil der Verschiedenheiten dadurch bedingt waren, dass die angewandten Methoden fehlerhaft oder unzweckmässig und für die vorliegenden Aufgaben ungenügend waren. In anderen Fällen dagegen haben auch die besten Methoden wenig übereinstimmende Ergebnisse geliefert, was man zum Theil einer Unähnlichkeit der Functionsart der verschiedenen Muskeln zuschreiben muss. Ausserdem waren wohl auch andere Gründe vorhanden.

Eigene Versuche.

Untersuchungsmethoden.

Es sind zwanzig Jahre her, dass ich meine ersten Untersuchungen über Muskelwärme ausführte. Diese Arbeit wurde in Fick's Laboratorium in Würzburg, und natürlich hauptsächlich mit Benutzung der Technik gemacht, die Fick früher für solche Untersuchungen ausgearbeitet hatte. Die Ergebnisse meiner Versuche wurden im Früh-

jahr 1881 publicirt (20). Seitdem habe ich über hierher gehörende Fragen nichts geschrieben,¹ obwohl ich während der dazwischenliegenden Jahre fleissig damit beschäftigt war. Hauptsächlich gingen meine Bestrebungen dahin, möglichst befriedigende Untersuchungsmethoden zu schaffen, da ich überzeugt war, dass, wenn einmal eine wirklich gute Methode zur Verfügung stehe, die Lösung der jetzt scheinbar so verwickelten Probleme von sich selbst kommen sollte, wie eine reife Frucht vom Baume fällt.

Die zu überwindenden Schwierigkeiten waren doch grosse und mannigfache. Oft glaubte ich mich dem Ziele nahe, fand aber bei genauerer Prüfung, dass noch nicht Alles in Ordnung war. Unmuthig und verzagt habe ich mehrmals die ganze Arbeit hingelegt, mit dem Vorsatze, nie mehr Zeit daran zu verschwenden. Aber nach wenigen Wochen oder Monaten nahm ich die Arbeit da wieder auf, wo ich das letzte Mal stehen geblieben, oder an einem neuen Ausgangspunkte, welcher mir dann mehr zu versprechen schien.

Es ist kein Zweifel, dass ich, wenn ich mehr methodisch vorgegangen wäre, schneller zu einem glücklichen Erfolge gekommen sein würde. Dies aber, was jetzt so klar dasteht, war früher gar nicht so leicht zu durchschauen und vorauszusehen, weil die Schwächen und Fehler welche der schon existirenden Methode anhafteten, keineswegs weder von mir, noch von Anderen eingesehen waren, und es war erst bei der Prüfung der Methodik und der versuchten Verbesserungen, als es mir nach und nach klar wurde, was man Alles anzustreben, zu vermeiden und zu verhüten hatte, um zuverlässige Ergebnisse zu bekommen.

Im vorigen Kapitel wurde hier und da erwähnt, dass einige Verfasser ihre Erfahrungen in Hinsicht auf die Misslichkeiten der Untersuchungen zum Ausdruck bringen. Andere haben kein Wort daran gespendet; ein Blick aber auf die Versuchsprotokolle wird oft genug dem kritischen und kundigen Leser zeigen, dass nicht Alles in Ordnung war, dass die Ergebnisse der publicirten, vielleicht „ausgelesenen“ oder „gelungenen Versuche“ durchaus nicht immer die Einstimmigkeit und Eindeutigkeit aufzeigen, welche für wirkliche und genügende Beweisführung nöthig ist. Vor Allem sind es Controlversuche, welche so oft vermisst werden.

Das letztere sah ich schon während der Ausführung meiner Arbeit in Würzburg ein. Deshalb verbrauchte ich auch dort die meiste Zeit mit controlirenden Versuchen, theils über den Einfluss des Feuchtigkeitsgrades der Muskelkammer auf die Grösse der Ausschlüsse, theils

¹ Bis 1899 und 1900, wo die schwedische Ausgabe dieser Arbeit erschien

über die Dehnungswärme der Muskeln. Beide Fragen waren früher von Westermann besonders untersucht, dessen Arbeiten durch die Experimentalphysik, die darin einhergeht, ihren grössten Werth hat.

Hier einen vollständigen Bericht über alle die Versuche, welche ich gemacht habe, um bessere Methoden aufzusuchen, wäre nicht angemessen. Ich will aber auch nicht stillschweigend die ganze Entwicklungskette übergehen, welche allmählich zu den Formen geführt hat, in welchen meine Methodik sich jetzt bewegt, und ich muss hier schon hervorheben, was die Erfahrung mich gelehrt, dass ich wohl nicht immer bei diesen Formen werde stehen bleiben, obwohl ich sie für jetzt sehr genügend finde.

Die Methoden, welche ich versucht habe, können füglich eingetheilt werden 1. in luftcalorimetrische, 2. bolometrische, 3. thermoelektrische Methoden.

Die luftcalorimetrische Methode.

Es war meinerseits gar nicht die Rede davon, den Luftbehälter des Thermometers zwischen den Muskeln einzuführen, wie es seinerseits Bunzen gethan hat, und wie es seitdem oft geschehen ist, wenn auch mit Quecksilber, anstatt Luft als thermometrischen Stoff. Ich habe im Gegentheil das Muskelpräparat in den Luftbehälter eingeführt.

Die besten Resultate bekam ich, wenn ich eine Art Differentialthermometer benutzte, der aus zwei durch eine Capillarröhre verbundenen und durch einen darin eingeführten, leicht beweglichen Flüssigkeitsindex abgetrennten Luftbehältern bestand. Die beiden Behälter waren aus Glas und hatten cylindrische Gestalt und luftdicht schliessende feste Deckel (siehe Tafel I, Figg. I und II. Sämmtliche Figuren dieser Tafel sind im Interesse der Deutlichkeit halbschematisch gehalten). In diesen Deckeln waren die zur Befestigung und Belastung der Muskeln und zur Einführung der reizenden elektrischen Ströme erforderlichen Einrichtungen angebracht. Um den Luftdruck ausgleichen zu können, waren kleine Löcher in die Deckel gebohrt, welche durch besondere Einrichtungen zu schliessen waren. Es ist selbstverständlich, dass so viele und grosse Muskeln eingeführt wurden, wie die Behälter gut halten konnten, ohne dass die Muskeln die Glaswände berührten; ebenso dass der ganze Apparat durch wärmeisolirende Hüllen genau geschützt war.

Nachdem man die zur Temperatúrausgleichung erforderliche Zeit abgewartet hatte (1 bis 2 Stunden), wurden die Behälter von der Atmosphäre abgesperrt und die Bewegungen des Index mit Hülfe eines Mikroskopes unter schwacher Vergrösserung abgelesen.

Nach theoretischer Ueberlegung sollte man nun erwarten, dass ein solcher Apparat empfindlich genug wäre, um auch für einfache Muskelzuckungen ablesbare Wärmeausschläge zu geben. Das stimmt aber nicht mit meiner bis jetzt gemachten Erfahrung überein. Erst nach mehreren Zuckungen oder Tetanus hat der Index deutliche und messbare Ausschläge gezeigt. Woher das kommt — ob und wie dem abzuhelpen möglich ist, lasse ich hier bei Seite, da ich diese verhältnissmässig leichten Untersuchungen zur Schülerarbeit reservirt habe.

Die bolometrische Methode.

Mit bolometrischen Einrichtungen habe ich in mehreren Reprisen gearbeitet, und ein paar Mal glaubte ich auf diesem Wege an das Ziel gekommen. Der Bolometer ist auch kürzlich zum Studium der Muskelwärme warm empfohlen worden. Wie ich schon bemerkt habe, waren diese Empfehlungen nicht von erhärtenden Berichten über hierher gehörende Untersuchungen begleitet.

Auch meine bolometrischen Untersuchungen, die Muskelwärm betreffend, haben bei genauer Prüfung sich zuletzt als ganz belanglos gezeigt. Damit aber meine Mühe nicht ganz spur- und nutzlos gewesen sei, will ich erwähnen, warum diese für manche Untersuchungen so vorzügliche Methode nach meiner Erfahrung nicht für den fraglichen Zweck geeignet ist.

Es handelt sich um die Fehler dieser Methode und die Schwierigkeiten, jene Fehler unter gegebenen Versuchsbedingungen zu eliminiren. Man kann zwar ohne Zweifel die Empfindlichkeit der bolometrischen Aufstellung, so hoch man irgend wünschen will, in die Höhe treiben; es zeigt sich aber, dass, je mehr die Empfindlichkeit wächst, um so grösser und deutlicher die Fehler in den Versuchsergebnissen hervortreten.

Bei Anwendung dieser Methode auf myothermischem Gebiete haben wir Fehler zu befürchten sowohl von Seiten des Galvanometers und der Muskelkammer, als besonders von folgenden zwei für die calorimetrische Methode eigenen und unvermeidlichen Umständen: 1. Erwärmung des Muskels durch den Bolometerdraht, 2. Thermoströme von dem in der Bolometerbrücke einlaufenden, unumgänglichen Zusammenfügungen heterogener Metalle. Man könnte wohl meinen, dass man den in Punkt 1 genannten Uebelstand entgehen könnte, z. B. wenn man die Stromstärke und damit die Erwärmung des Bolometerdrahtes mässigte und also die Gefahr einer partiellen Erwärmung des Muskels verminderte, oder wenn man die Ströme nur für kurze

Zeit durch den Bolometer schlösse, da man freilich nicht allen Veränderungen der Temperatur des Muskels genau folgen, aber doch für gewisse Zeitmomente Temperaturanzeige bekommen könnte. Ebenso könnte man die Thermoströme durch dieselben schwachen oder kurzdauernden Ströme, durch Wärmeisolirung und geeignete Wahl des Materials u. s. w. zum Minimum reduciren. — Das ist alles richtig, aber immer wird ein kleiner Rest der genannten Fehler zurückbleiben und bei der grossen Steigerung der Empfindlichkeit, wie sie für die Messung der Muskelwärme gebraucht werden muss, steigt auch die Empfindlichkeit für diese Fehlerreste, welche die Ausschläge immer unzuverlässig, meistens ganz unbrauchbar machen.

Ich könnte zwar das nun Gesagte durch meine Versuchsprotokolle erhärten und veranschaulichen; damit kann ja aber nicht bewiesen werden, dass nicht mit Hülfe anderer Instrumente, Materialien oder Einrichtungen die erwähnten Fehler ganz zu vermeiden, und also alle Vortheile aus der in mancher Beziehung so vorzüglichsten bolometrischen Methode zu ziehen wären. Deshalb will ich nur hinzufügen, dass ich die Einrichtungen, Aufstellungen u. s. w. bei meinen bolometrischen Versuchen vielfach variirt habe. Als Messinstrument diente meistens ein Thomson-Galvanometer von Elliot Bross, mit Concavspiegel für Projection. Die Bolometerdrähte wechselten betreffs des Materials Länge und Widerstand innerhalb der weitesten Grenzen, und der Widerstand im Galvanometerkreise kam immer dem der Bolometerkreise sehr nahe. Die Bolometerdrähte waren ausserhalb der Muskeln oder zwischen ihnen angebracht — in Berührung mit den Muskeln, oder durch ein Luftlager von ihnen geschieden u. s. w.

Die thermoelektrische Methode.

Endlich kommen wir an die thermoelektrische Methode, bei welcher ich zuletzt stehen geblieben bin. Ich habe geprüft, was Andere in diesen Jahren versucht oder vorgeschlagen haben; und zudem habe ich mir manche neue Einrichtungen gemacht. Eine nicht zu kleine Reihe Galvanometer habe ich erprobt, und noch mehrere Thermosäulen. Thomson's Galvanometer nannte ich schon; aber auch Rosenthal's Mikrogalvanometer, und zwar in mehreren Modificationen, habe ich gebraucht, ebenso d'Arsonval's Galvanometer in einigen Varianten. Meine ersten Versuche führte ich mit Fick's Thermogalvanometer aus, und die nächsten mit einer dem physiologischen Laboratorium in Upsala gehörigen Wiedemann'schen Boussole.

Was die Thermosäulen betrifft, so waren der Variationen nicht

nur mehrere, sondern auch grosse. Die Zahl der Elemente wechselt zwischen einigen sechzig bis zwei herunter. Das Material war entweder die gewöhnliche Combination von Eisen und Neusilber und Wismuth und Antimon, oder auch ganz andere. So habe ich, um die Masse und Wärmecapacität herabzusetzen, falsches Blättergold und Blättersilber mit Stanniol verbunden. Die Wirkung kann ich nicht loben. Seit dem Jahre 1895 habe ich fast ausschliesslich die Combinationen Constantan—Eisen oder Constantan—Kupfer, oder Wismuth—Kupfer angewendet.

Constantan ist bekanntlich eine Legirung aus Nickel (40 Proc.) und Kupfer (60 Proc.), hat ein elektrisches Leitungsvermögen, welches doppelt so gross ist wie das des Quecksilbers, und ist vor Allem durch einen sehr minimalen Temperaturcoefficienten gekennzeichnet, weshalb er in Etalonen zur Messung elektrischer Widerstände vortheilhaft Anwendung findet. In dieser Beziehung ist er dem „Manganin“ ähnlich, welches doch viel besser leitet.

Constantan ist dem Manganin in noch einer Beziehung ähnlich, und zwar in thermoelektrischer. Eine Combination von Constantan oder Manganin mit Eisen hat eine bedeutende thermoelektromotorische Kraft. Ich habe 54 Mikrovolt für einen Grad Temperaturunterschied angegeben gesehen. In einem Probeelement aus Eisen—Constantan, welche ich in dieser Hinsicht untersuchte, sah ich diese Kraft 56.7 Mikrovolt erreichen, also eine Grösse derselben Ordnung, wie für die besten Wismuth—Antimon-Combinationen. Dabei haben Constantan und Manganin die vorzügliche Eigenschaft, sich etwa wie Messing ziehen, löthen und arbeiten zu lassen.

Wenn man Protokolle myothermischer Versuchsreihen durchmustert, findet man oft, dass der Muskel in nacheinander folgenden, unter scheinbar durch und durch gleichartigen Verhältnissen ausgeführten Zuckungen nicht so wenig abweichende Wärmeausschläge gegeben hat. Manchmal hat man die Ungleichmässigkeit der Ausschläge damit verhüllt, dass man Durchschnittszahlen einer Anzahl unter gleichen Bedingungen gewonnenen Ausschläge berechnet, oder man hat die, welche man unbequem fand, ganz einfach als „fehlerhaft“ weggelassen. Es ist aber sicher, dass ein solcher Unterschied der Wärmeausschläge, welche nicht aus wissentlich eingeführten ungleichen Versuchsbedingungen zu erklären sind, doch nicht einer Launenhaftigkeit der Arbeitsweise des Muskels zuzuschreiben ist. Die Veranlassung ist unzweifelhaft in der Verschiedenheit der Versuchsbedingungen zu suchen, wenn auch die Verschiedenheit nicht erkannt und beabsichtigt war. Die Natur dieser den Experimentatoren entgangenen Fehler spürt man

manchmal deutlich genug in den Protokollen, nachdem uns die Augen aufgegangen sind betreffs der mannigfachen Gefahren, welche bei diesen delikaten Versuchen von allen Seiten drohen.

Ich will hier mit einigen Worten meine Erfahrungen in dieser Beziehung berühren, woher man auch die Motive der Form der Methodik, zu welcher mich diese Erfahrungen nach und nach gelehrt haben, herauslesen kann.

Einer der allergewöhnlichsten und gefährlichsten Fehler beruht auf unvollkommener Verschlussung und Anfeuchtung der Muskelkammer. Die nächste Folge ist, dass die Kammerluft nicht vollständig mit Feuchtigkeit gesättigt ist, und dass das Muskelpräparat also durch Wasserabdampfung unter die Temperatur der Kammerluft und Thermosäule abgekühlt wird. Ein Theil der Oberfläche des Präparates, welcher von der Säule gedeckt ist, wird dadurch vor Wasserverdampfung geschützt und bekommt ausserdem Wärme von der Säule. Dieser Theil wird deshalb, nachdem das Präparat eine Zeit lang in der Kammer verweilt hat, immer etwas wärmer als das übrige Präparat. Bei der kleinsten Verschiebung zwischen Muskel und Säule kommt also die letztere mit kälteren Muskeltheilen in Berührung und kann deshalb unter Umständen einen deutlichen Abkühlungsausschlag — „negative Schwankung“ — vor dem positiven, welcher der Zuckung sonst allein folgt, veranlassen. Ein anderes Mal bewirkt diese Verschiebung und vorübergehende Abkühlung der Säule nur eine Verzögerung und Verminderung des Wärmeausschlages.

Es ist aber einleuchtend, dass die Verschiebung zwischen Säule und Muskel in verschiedenen Zuckungen leicht etwas grösser oder kleiner werden kann, wozu mehrere Momente beitragen können. Davon rühren die Ungleichmässigkeiten der Wärmeausschläge sicherlich sehr oft her.

Die meisten Forscher dieses Gebietes hüllten auch die andere Seite der Thermosäule mit Muskelstücken oder mit feuchtem Fliesspapier und dergleichen ein, um so die Temperatúrausgleichung zu beschleunigen und die Wartezeit zu verkürzen, damit sie die Reizversuche anfangen könnten, ehe die Muskeln gar zu lange in der Kammer verweilt hatten. Dagegen ist ja nichts einzuwenden. Sorgt man aber nicht dafür, dass die Luft der Muskelkammer mit Feuchtigkeit gesättigt bleibt, werden jedoch durch Verschiebung zwischen Säule und Muskel meistens Ausschläge erscheinen. Es ist nämlich nicht sehr wahrscheinlich, dass die Abkühlung der beiden Seiten der Säule in solchen Versuchen denselben Grad erreichen sollen, höchstens dann für eine ganz kleine Weile. Die Fehler werden wohl überhaupt kleiner,

aber nunmehr auch in ihrer Richtung wechselnd und deshalb launenhafter.

Es giebt zwei Wege, den jetzt erwähnten zusammenwirkenden Fehlerquellen zu entgehen: den einen, die Muskelkammer gut umschlossen und angefeuchtet zu halten, den anderen, die Verschiebung zwischen Muskel und Säule zu verhüten. Weder Heidenhain's, noch Fick's Methode erfüllen in dieser Beziehung diese berechtigten Ansprüche. Dagegen waren Helmholtz' Thermonadeln diesbezüglich untadelhaft. Sie dürfen aber in anderen Beziehungen nicht einwandfrei dastehen.

Alle die nun genannten Säulen waren eingerichtet, um die Bewegungen der Muskeln zum Theil mitzumachen. Man darf aber nicht ungestraft einen Theil eines Thermokreises bewegen. Bei den kleinen Widerständen, die hier vorkommen, und bei der grossen Empfindlichkeit der Aufstellungen ist der inducirende Einfluss des Erdmagnetismus auf einen solchen beweglichen Theil Veranlassung genug, um einen Ausschlag des Galvanometers zu geben. Ich hatte lange und oft mit solchen Ausschlägen zu kämpfen, ehe ich schliesslich ins Reine damit kam. Im Laufe einer Untersuchung beobachtete ich zufälliger Weise einen Ausschlag nach Verrückung eines Leitungsdrahtes, und nun experimentirte und speculirte ich darüber, bis ich endlich von einem kundigen Physiker, den ich zu Rathe zog, Auskunft bekam über den recht einfachen Grund solcher Ausschläge. Ich machte mir später diese Inductionsströme zu Nutze in der Weise, dass ich eine Schlinge des Leitungsdrahtes um den Umkreis einer runden, horizontalen Scheibe legte und mit der Scheibe 180° um eine horizontale Axe drehte, wobei ich Galvanometerausschläge bekam, deren Grösse von der Horizontalcomponente des Erdmagnetismus, von dem Durchmesser der Schlinge, dem Empfindlichkeitscoefficienten des Galvanometers und dem Widerstande abhängt. Damals brauchte ich Thomson's Galvanometer und regulirte seine Empfindlichkeit mit Hülfe des Richtmagnets, und gleichzeitig prüfte ich diese Empfindlichkeit und die gebührende (widerstandslose) Zusammenfügung der Leitung vermittelt dieser Scheibe (Erdmagnetinductor). Die Scheibe war 20 cm im Durchmesser und bei dem Empfindlichkeitsgrade, womit ich gewöhnlich arbeitete, gab die Umdrehung der Scheibe einen Ausschlag von 10 cm , gesetzt, dass kein zufälliger Leitungswiderstand bei Zusammenfügung des Thermokreises entstanden war. Der Scalenabstand war 1 m .

Man könnte nun meinen, dass die geringfügigen Bewegungen einer kleinen Thermosäule nicht zu vergleichen wären mit den umfangreichen Bewegungen der weit grösseren Drahtschlinge. Wenn wir

aber mit in Berechnung ziehen, dass bei dieser Aufstellung die gewöhnliche Grösse der Wärmeausschläge innerhalb der Grenzen von zwei bis zwanzig Millimeter wechselte, und einräumen, dass wenigstens ein oder ein paar Millimeter Ausschlag leicht von den Bewegungen der Thermosäule herkommen können, so wird dies gewiss nicht bedeutungslos für die Resultate sich zeigen.

Je kleiner die Säule und deren Bewegungen und je grösser der Widerstand des Thermokreises, um so weniger hat man den Einfluss der erdmagnetischen Inductionsströme zu befürchten. Am sichersten ist es jedenfalls, die Säule und die ganze thermoelektrische Leitung unbeweglich befestigt zu halten.

Es giebt überdies noch einen Grund, welcher dafür spricht. Es ist nämlich vielfach beobachtet worden, dass eine Biegung, Dehnung oder Pressung der Drähte eines Galvanometerkreises besonders in der Nähe einer Fügung oder Löthung genügt, um die Galvanometernadel in Bewegung zu versetzen. Die Sache ist schon längst allbekannt und braucht hier nicht weiter besprochen zu werden.

Die von Fick, Chauveau u. A. angewandte Methode, die bewegliche Säule in die Galvanometerleitung einzufügen, nämlich vermittelst quecksilberhaltigen Gefässen, in welchen die Leitungsdrähte und die freien Enden der Säule eintauchten, scheint mir gar nicht empfehlenswerth. Ein solcher thermoelektrischer Kreis ist ja selten stromlos. Es ist klar, dass unter solchen Umständen jede Veränderung des Leitungswiderstandes einen Galvanometerausschlag veranlassen soll, und wie leicht wird nicht der Widerstand des Quecksilbercontacts durch die Bewegung der Drähte geändert? Die Gefahr ist um so grösser, als hier gewöhnlich mit sehr kleinen Widerständen im Leitungskreise gearbeitet wird.

Bisweilen spürt man in den Versuchsprotokollen ungenügende Isolirung zwischen Thermoleitung und Reizbogen, oder auch Inductionswirkung der Reizströme auf den Thermokreis oder die Galvanometernadel. Das sind Fehler, die sich scheinbar leicht beseitigen lassen. Aber auch in dieser Beziehung hat die Erfahrung gelehrt, dass die Gefahr oft daher kommt, von wo man sie am wenigsten erwartet. Der gefährlichste Punkt ist da, wo der Muskel die Thermosäule berührt. Durch den Muskel geht nämlich bei directer Reizung der Reizstrom. Die Säule muss deswegen vom Muskel elektrisch isolirt sein. Dazu verwendet man gewöhnlich einen dünnen Lack- oder Firnissüberzug, eine Kautschukmembran oder dergleichen. Gut angebracht hat eine solche Isolirung sich als völlig hinreichend erwiesen. Aber man darf sich nicht zu lange darauf verlassen. Keiner von den Lacken, die ich

geprüft habe, widersteht auf die Dauer die Feuchtigkeit der Kammer und des Muskels. Die Vorsicht gebietet, wenigstens jeden zweiten Versuchstag den Lacküberzug zu erneuern und immer nach beendeten Tagesversuchen zu untersuchen, ob die Reizströme auf den Galvanometer wirken. Wie man sich gegen die Inductionswirkungen schützt, habe ich hier nicht nöthig weiter auszulegen.

Registriert man graphisch die Galvanometeroscillationen, so kann man kaum entgehen, Fehler, welche von einer der letzterwähnten Veranlassungen herrühren, zu bemerken. Begnügt man sich aber, wie alle früheren Untersucher, damit, die (ersten) Wendepunkte der Oscillationen abzulesen und zu notiren, da werden solche Fehler leicht unbeachtet gelassen.

Eine Menge anderer Fehler, als die hier besonders angezeigten, sind natürlich denkbar und auch ohne Zweifel vorgekommen. Die erwähnten sind aber die häufigsten und die, welche öfters unbeachtet blieben oder in ihrer Bedeutung unterschätzt wurden.

Ehe ich diese wichtige Frage ganz bei Seite lasse, erachte ich es für nöthig, in Folge einer theuer erworbenen Erfahrung noch einige Sachen hervorzuheben. Die eine ist: dass jede Fügung oder Verbindung im Thermokreise ausserhalb der Säule eine Gefahr der Entstehung störender Thermoströme, welche irreführend werden können, mit sich bringt. Am besten ist es deshalb, die Glieder und Verbindungen der Thermoleitung auf das geringste Maass zu beschränken und am liebsten die ganze Leitung möglichst kurz und zusammengedrängt zu machen.

Die andere Sache ist, dass es, wenn man Galvanometer verwendet, deren Nullpunkt unter dem Einflusse erdmagnetischer Variationen wechseln, sehr nützlich ist, sich im Voraus mit den dadurch bedingten Magnetschwingungen sowohl in offenem, wie in geschlossenem Kreise gut vertraut zu machen. Dadurch wird man vor mancher Ueberraschung und Täuschung verschont, und das Beste wird es jedenfalls sein, wenn man vermeiden kann, solche Galvanometer zu brauchen, oder wenigstens ihre Abhängigkeit vom Erdmagnetismus zu einem Minimum reduciren kann.

Ich gehe nun zur Beschreibung der Methoden über, welche mir die besten Resultate gegeben haben.

A. Gemeinsam für Alle ist, dass die Säule fix und nur eingliedrig war, aus Eisen—Constantan, Kupfer—Constantan oder Kupfer—Wismuth bestehend.

Ein paar Jahre arbeitete ich mit einem Elemente, welches aus einem 2^{cm} langen, 2^{mm} starken Constantendrahte bestand, dessen beide

Enden mit Eisendrähten zusammengelöthet waren; diese Drähte wachsen schnell in der Stärke an und bilden zusammen mit dem Constantendrahte einen horizontalen Stab, welcher mit seinen Enden in vertikalen, durch die Decke der Muskelkammer gehenden und dort gut befestigten Kupferstäben fixirt ist. Das Element hat grosse Aehnlichkeit mit dem Taf. I Fig. E gezeichneten, welche Zeichnung dazu dienen kann, auch diese Beschreibung zu erläutern. Auf den Löthstellen wird nun das Muskelpräparat rittlings gehängt, die zwei Adductoren mit der Symphyse auf dem runden Stab ruhend, die Gastrocnemiusmuskeln auf entsprechende Weise, nachdem ihre oberen Enden fest und dicht zusammengebunden waren. Die Adductoren umschliessen so die Löthung an zwei Seiten, ohne dass eine nennenswerthe Verschiebung oder Dehnung der Muskeln hier stattfindet. In Folge der Gestalt der Gastrocnemien können diese bei derselben Fixirungsweise sich den Löthstellen nicht so genau anschmiegen. Werden sie aber höher an einer besonderen Einrichtung befestigt, so dass die Muskelbäuche die Löthstelle berühren, so entstehen bei jeder Bewegung der Muskeln Verschiebungen, welche die Resultate schwer compromittiren können. Daraus folgt, dass die Gastrocnemien sich nicht so gut eignen, um mit diesen Elementen die Muskelwärme zu studiren, wie die Adductoren.

Die herabhängenden Muskelenden werden auch zusammengebunden, und zwar mit Kupferdrähten, welche durch Löcher im Boden der Kammer weiter geführt werden und dazu dienen, die Verbindung mit etwaiger Registrirereinrichtung und Belastung zu vermitteln und die Reizströme zu den Muskeln zu leiten. Die Ableitung dieser Ströme besorgen besondere, durch die Decke der Kammer zu führende Metallstäbe, welche zugleich die Symphyse von oben gegen das Element festdrücken.

Die Kammerwände sind aus Kupfer oder Messing, inwendig überall mit feuchtem Fliesspapier ausgekleidet und auswendig mit mehreren wärmeisolirenden Lagen aus Flanell umgehüllt. Der Kammerboden ist aus Ebonit, gegen die Mitte ein wenig ausgehöhlt und mit ein paar Tropfen Oel benetzt, welches die feinen Löcher, durch welche die Kupferdrähte gehen, immer verschliessen.¹ Ein Bajonettverschluss verbindet die cylindrische Wand der Kammer mit der Decke, und die Dichtigkeit wird auch hier durch eine Oellage gesichert. Von der Kammer gehen gut isolirte Leitungsdrähte durch eine Pappröhre zu dem auf einer Wandconsole stehenden Thomson's Galvanometer.

¹ Es ist gewiss nicht meine Absicht, Herrn Dr. Bürker seine Priorität bezüglich dieser wahrscheinlich oft gebrauchten Finte zu bestreiten, aber es giebt auch keinen Grund, zu verhehlen, dass ich sie seit lange her brauchte.

Dieser steht in einem wattirten Holzkasten, welcher dem Spiegel gegenüber ein Loch hat, das aber mit einer planen Glasscheibe verdeckt ist. Die Thermorollen sind neben einander geschaltet und haben zusammen einen Widerstand von 0.068 Ohm; der Widerstand der Leitung nebst Thermoelemente ist 0.067 Ohm, also des ganzen Kreises 0.137 Ohm.

An derselben Console, welche den Galvanometer trägt, ist auch ein horizontaler Arm fixirt, der eine elektrische Glühlampe und darunter die Scala hält. Diese ist auf mattirtes Glas gemalt und vor störendem Licht dadurch geschützt, dass sie tief in einem dreieckigen, schwarzen Pappkasten eingebracht ist und zugleich die Hinterwand des Kastens bildet, während die Spitze des Kastens dem Galvanometer zugekehrt ist. Die Spitze selbst ist übrigens weggeschnitten, und durch das so entstandene Loch gehen die von dem Galvanometerspiegel reflectirten Strahlen vor fremdem Lichte ziemlich rein zur Scala hinein. Vor der Scala sitzt der Experimentator und achtet auf die Bewegungen des Reflexes. An seiner Seite steht die Muskelkammer mit den dazugehörigen Einrichtungen, um den Muskel zu reizen und seine Bewegungen aufzuschreiben. Unter der Scala steht ein Registrircylinder mit horizontal liegender Trommel und vor dieser ein Marey'scher Schlittenapparat. An dem Schlitten sind angebracht theils ein Stab mit einer Spitze, die vor der Scala spielt, theils eine Feder, mit welcher die Verschiebungen des Schlittens an der Trommel geschrieben werden. Der Zweck dieser Einrichtungen ist, die Oscillationen der Galvanometernadel graphisch wiederzugeben und zu bewahren, was auch vorzüglich gelingt. Man hat nur den Schlitten mit der Schraube des Schlittenapparates oder unmittelbar mit der Hand zu führen, indem man dafür sorgt, dass die genannte Spitze immer den Wanderungen des Lichtreflexes genau folgt.

Nach beendeter Versuchsreihe hat man in der aufgeschriebenen Curve ein zuverlässiges Document, welches überdies unter günstigen Umständen wenig zu wünschen übrig lässt, die Uebersichtlichkeit der Ergebnisse betreffend, und unter allen Umständen eine schätzenswerthe Anleitung zum Verständnisse der Natur und Bedeutung der Ausschläge abgibt.

Aber diese Curven enthüllen dabei auch die schwache Seite der Methode. Diese ist von der unbeständigen Lage des Nullpunktes bedingt, welche oft, wie es scheinen kann, ganz willkürliche Wanderungen der Magnetnadel veranlasst und meistens der Abscisse einen nichts weniger als geraden, geschweige denn einen horizontalen Verlauf giebt. An windigen Tagen, wovon wir hier gar zu viele haben, wird

deswegen die Methode fast unbrauchbar, und nur bei völliger Windstille kann man darauf rechnen, eine längere, gleichmässig verlaufende Abscisse zu bekommen, von welcher dann die Wärmeausschläge mit unverzerrter und gesetzmässiger Biegung zu der dem Temperaturzuwachs des Muskels entsprechenden Höhe sich erheben. Meistentheils muss man von Zeit zu Zeit mittels des Richtungsmagnetes den Index zur Mitte der Scala zurückführen, um die Curve innerhalb der Ränder der Trommel schreiben zu können.

Indem ich die Schwäche der Methode andeutete, gab ich auch den Grund an, warum ich mich nach anderen Methoden umgesehen habe. Im Folgenden werde ich die jetzt beschriebene Aufstellung A nennen.

B. Vor einigen Jahren hat Herr Broca vorgeschlagen, das astatische Nadelsystem zu Thomson's und dergleichen Galvanometer nach einem neuen Typus zu machen, welcher starke magnetische Wirkungen mit geringem Trägheitsmomente vereinen sollte. Das Magnetsystem ist aus zwei möglichst gleichen parallelen und vertikalen, geraden Stahldrähten gemacht, welche ganz nahe verbunden und auf eine eigenthümliche Weise magnetisirt worden sind. Dies wird so gemacht, dass die Mitte einer Nadel an den einen Pol eines kräftigen Elektromagnetes gelegt wird, wobei sich drei Pole bilden, einer in der Mitte der Nadel, und einer an jedem Ende, von welchen der erste genau so stark ist, wie die zwei letzten zusammen genommen. Die andere Nadel wird in derselben Weise magnetisirt, aber mit dem anderen Pole des Elektromagnetes. Das Nadelsystem nebst Spiegel wird an einem Quarzfaden aufgehängt und zeigt sich dann, wenn gut gemacht, ziemlich astatisch. Seltener dürfte man aber vollständige Astasie so ohne Weiteres erreichen. Verlangt man vollständige Unabhängigkeit von dem Erdmagnetismus und seinen Veränderungen, so wird es wohl meistens nöthig, eine kleine Nadelcorrection einzuführen, welche mit Geduld und unter methodischem Verfahren sich gut machen lässt. Ich führte die Correction so aus, dass ich ein ausprobirtes Stück eines feinen, weichen Eisendrahtes an das untere Ende des Nadelsystems legte, wo es vom Magnetismus festgehalten wurde.

Ein solches, nicht vollständig astatisches System habe ich in einem kleinen tragbaren Galvanometer, mit welchem ich nicht nur Muskel- und Nervenströme, sondern auch Thermoströme, von der Muskelwärme in der sub A beschriebenen Thermosäule entstanden, meinem Auditorium demonstrirt habe. Das System hängt an einem Quarzfaden, dessen Richtkraft von einem festen Magnete unterstützt wird, um so die Nulllage zu stabilisiren, natürlich nicht ohne etwas von der

Empfindlichkeit zu opfern. Zu beiden Seiten der Doppelnadel sitzen die zwei kleinen Drahtrollen in einem gemeinsamen Ringe, welcher oben die Laterne für den Spiegel und darüber die Röhre für den Quarzfaden mit Befestigung, unten einen kleinen Fuss trägt; dieser ruht auf einer Marmorplatte mit Stellschrauben und der Einrichtung, die Rollen neben oder nach einander zu verbinden. Die Rollen können leicht gewechselt und, da sie mit Bajonettverschluss im Ringe befestigt sind, gleichzeitig in die Leitung eingefügt werden. Das kleine, niedliche und dabei sehr empfindliche Instrument, das mir beim Unterricht grossen Nutzen gebracht hat, ist leicht aufzustellen und bequem zu gebrauchen, wenn man nur gebührende Rücksicht auf die Zerbrechlichkeit des Quarzfadens nimmt. Ein Coconfaden wäre wohl manchmal vorzuziehen. So lange das Nadelsystem nicht ganz astatisch ist, leidet das Instrument principiell an demselben Fehler, wie der Thomson'sche Galvanometer.

C. Der d'Arsonval'sche Galvanometer eignet sich in den Formen, die ich bis jetzt gesehen habe, nicht gut zur Einschaltung in eine thermoelektrische Leitungskette. Es ist die Zuleitung zu der beweglichen Spule, welche hier die Schwierigkeit verursacht, weil sie kleinen elektrischen Leitungswiderstand und zugleich kleinen mechanischen Widerstand gegen die Bewegungen der Spule darbieten müsste. Die Sache wird aber einfach genug, wenn man darauf verzichtet, die Ströme von aussen zur Spule zu leiten, und anstatt dessen das Thermoelement mit in die Spule eingehen lässt und ihm nur durch Strahlung Wärme zuführt. Nach einigen misslungenen Versuchen gelang es mir auf diese Weise, ein in gewisser Beziehung sehr hervorragendes und interessantes Instrument zu schaffen.

Das magnetische Feld ist von fünf kräftigen permanenten Hufeisenmagneten mit gemeinsamen Polschuhen und einem zwischen diesen gelegenen Eisencylinder hergestellt. In dem kreisförmigen Raume zwischen Polschuhen und Eisencylinder bewegt sich ein geschlossener Bügel (Taf. I Fig. C), welcher grösstentheils aus einem Kupferbändchen hergestellt ist, unten aber eine herabgehende Partie hat, deren einen Theil ein 3^{cm} langer und 1^{mm} dicker Constantendraht ausmacht. Am Bügel war oben ein kleiner Spiegel angebracht und das Ganze hing an einem Quarzfaden. An der untersten Spitze war also eine Löthstelle zwischen Kupfer und Constantan. Diese Spitze war von einer dünnen Kupferhülse, in Gestalt und Grösse etwa wie ein Zündhütchen, in welchem die Spitze sich frei drehen konnte, umgeben. Die Hülse war, etwas in die Muskelkammer versenkt, an deren Decke befestigt. Die Muskeln wurden nun so um diese Hülse gelegt, dass sie diese

allerseits berührten und ihr ihre Wärme mittheilten. Davon strahlte die Wärme auf die Löthstelle und rief Thermostrome im Bügel hervor, welche dann drehend auf Bügel und Spiegel wirkten. Diese Drehbewegungen wurden, wie bei Aufstellung A, aufgeschrieben.

Die Empfindlichkeit kann hier fast unbeschränkt gesteigert werden. Sie hängt wesentlich von der Intensität des magnetischen Feldes, dem elektrischen Leitungsvermögen des Bügels, der Schwere der Equipage und den Dimensionen und der darauf beruhenden Richtkraft des Quarzfadens ab. Auch ist die Empfindlichkeit des hier gebauten Instrumentes sehr bedeutend. Sie enthüllt die Joule'sche Wärme in toten Muskeln, welche von einfachen Inductionstromstößen durchströmt werden, solchen, wie ich sie Tags vorher zur Reizung derselben Muskeln anwendete. Die Grösse der Ausschläge wechselt mit der Intensität der benutzten Inductionströme unbegrenzt. Aber auch mit diesem Apparate ist es nicht möglich, eine Wärmeentwicklung der Nerven bei der Reizung zu spüren.

Ungeachtet der Vorzüge der bedeutenden Empfindlichkeit und doch vollständige Unempfindlichkeit für magnetische und elektrische Störungen, wird der Gebrauch dieses Instrumentes in der hier beschriebenen Gestalt ziemlich beschränkt. Einige der Uebelstände könnten wohl durch gewisse Veränderungen der Constructionsdetails vermindert, wenn nicht ganz entfernt werden; andere sind wohl unvermeidlich. Zu diesen rechne ich seine in Folge der kräftigen Dämpfung und der geringen Richtkraft langsamen Bewegungen, zu jenen seine stetigen Wanderungen, eine Wirkung der Langsamkeit, mit welcher die Eisenmassen den Temperaturwechselungen der umgebenden Luft folgen. Die eine Löthstelle liegt ja diesen Eisenmassen näher als die andere. Vielfache Hüllen aus Kupfer und wärmeisolirenden Stoffen könnten diese Unruhe nur unvollständig beseitigen.

D. Ein zweites Exemplar wurde deshalb gemacht, wo folgende Modificationen eingeführt waren: der Raum zwischen den Polschuhen wurde bedeutend vermindert, der Eisencylinder fortgelassen und der Kupferbügel ganz eng gemacht — nur ein paar Millimeter zwischen die beiden vertikalen Schenkel, die aus runden Kupferdrähten gemacht waren (Taf. I Fig. D). Weiter waren diese Schenkel gleich lang, deren untere Enden dünn gemacht und mit einem Stück Constantandraht zusammengelöthet, während eine zwischengeschobene Ebonitlamelle die Ueberführung der Wärme durch Strahlung abschirmte. Damit war ein ganz symmetrisch gebautes Differentialelektrothermoskop hergestellt, welches mit seinen Ausschlägen zeigte, von welcher Seite die grösste Wärmestrahlung stattfand.

Um die Empfindlichkeit zu vermehren, war das untere Ende mit den beiden Löthungen berusst. Sie war in einem kleinen Kämmerchen untergebracht, dessen Wände theils aus wärmeisolirendem Stoffe (Celluloid), theils aus zwei dünnen, ebenen Kupferplatten hergestellt waren. Ausserhalb und in Berührung mit je einer dieser Kupferplatten hängen nun zwei Muskeln, von der feuchten Muskelkammer umschlossen.

Dieser Apparat hat seines symmetrischen Baues zu Folge eine ziemlich ruhige Lage und zudem als Folge der geringeren Dämpfung und des kleinen Trägheitsmomentes etwas schnellere Bewegungen. Ich habe ihn aber zu wenig geprüft, um seine Verwendbarkeit völlig beurtheilen zu können. Die Verschiebungen zwischen Muskeln und Kupferplatten bei den Formveränderungen der ersteren bildet eine bei diesen Apparaten unvermeidliche Fehlerquelle, welche mir ernste Bedenklichkeiten gegen seine Anwendung zu myothermischen Untersuchungen eingeflösst haben.

E. In den Aufstellungen *E* und *F* finden wir die Broca'sche Equipage wieder, aber nun völlig astatisirt — siehe Aufstellung *B* S. 85. Die Thermorollen sind stark modificirt worden. Die Länge der Leitung möglichst reducirt und das Thermoelement vereinfacht, indem das Eisen weggefallen ist und nur Kupfer und Constantan wie in Aufstellung *C* und *D* geblieben sind. Dadurch wird freilich die elektromotorische Kraft für jeden Temperaturunterschied mit etwa 20 Proc. vermindert, die gewonnenen Vorthelle des verminderten Widerstandes und der beschränkten Anzahl Löthstellen müssen aber diesen Verlust gut decken.

Die Hängevorrichtung für den Quarzfaden ist an der Decke eines parallelepipedischen Glaskastens angebracht. Der Kasten ist unten offen und ruht auf einer starken Ebonitscheibe (Taf. I Fig. *E*, 10). Diese Scheibe wird von zwei an der Bodenplatte befestigten Messingpfeilern getragen, und trägt selbst an der oberen Seite die Thermorollen, an der unteren Thermosäule und Muskelkammer. Die zwei erstgenannten sind aus einem Stück 2^{mm} langen Kupferdraht hergestellt. Dieser Draht ist von der Mitte aus zu zwei platten, senkrechten und parallelen Spiralen in 4.5 bzw. 5 Touren zusammengerollt worden und dienen nun diesen Spiralen als Thermorollen und lassen zwischen sich Platz für das Magnetsystem. Die übrig gebliebenen Enden des Drahtes gehen durch die Ebonitscheibe hindurch, werden rechtwinklig gegen einander gebogen und enden 2^{cm} von einander entfernt. Der Zwischenraum wurde von Constantandraht ausgefüllt, welcher an die Enden des Kupferdrahtes gelöthet wurde und den Kreis für immer schloss.

Die Muskelpräparate wurden, wie ich oben beschrieben habe, rittlings um die Löthstelle gelegt; aber damit kein Brechen oder keine Biegung hier entstehen kann, ruht der ganze horizontale Verbindungszweig auf einem dünnen, genügend breiten und gut isolirten Metallstreifen (12), welcher von einem Paar in die Ebonitscheibe eingeschaubten Messingstäbchen getragen wird.

Die Einrichtung der Muskelkammer ist die schon beschriebene. Weitere Details sind leicht aus Taf. I Fig. E zu ersehen. Hier kann man mit zwei Muskelpräparaten gleichzeitig oder abwechselnd arbeiten wie man es wünscht.

Um den Bewegungen des Spiegelindex zur Registrirung derselben folgen zu können, müssen sie gedämpft werden, weil sie sonst zu schnell sind. Darum wurde am Spiegel eine dazu geeignete Glimmerplatte angeklebt. Da der Spiegel dieses Instrumentes plan war, brauchte ich ein Ablesefernrohr, das natürlich nicht zu bewegen war. Dagegen war die Scala am Schlittenapparat angebracht und damit so verschoben, dass ihr Nullpunkt immer vom Fadenkreuz des Fernrohrs gedeckt wurde. Wünscht man nicht, die Ausschläge zu registriren, sondern nur die Wendepunkte zu verzeichnen, so lässt man lieber den Dämpfer fort und arbeitet mit frei oscillirender Equipage. Auch bei photographischer Registrirung der Oscillationen ist der ungedämpfte Magnet vorzuziehen.

F. Ein weiterer Fortschritt in der Technik ist durch eine kleine Abänderung des Thermoelementes gewonnen. Die beiden Endstücke des Kupferdrahtes sind verlängert worden und reichen nun ein Stück um einander und werden durch eine dünne Ebonitlamelle geschieden, zu Papierdicke verdünnt und mit einer oder zwei Nietungen aus 0.5 mm starkem Constantan- oder etwas stärkerem Wismuthdrahte durch die Ebonitlamelle hindurch zusammenngenietet. Das Präparat reitet mit der Symphyse am Rande der Ebonitlamelle und die beiden Muskeln werden durch diese von einander getrennt. Unmittelbar unter dem oberen, horizontalen Rande der Ebonitlamelle, also so nahe wie möglich an der Symphyse, liegen nun die Löthungen. Wenn diese nur ein paar Millimeter von der Symphyse abstehen, werden die Verschiebungen der Muskeln die Ausschläge beeinflussen und die Resultate compromittiren.

Ein jeder Adductor berührt seine Löthstelle. In Folge der symmetrischen Anordnung und erleichterter Wärmeleitung durch den kurzen Constantan- bzw. Wismuthdraht einerseits und den starken, doch nicht so langen Kupferdraht andererseits vollzieht sich die Temperatúrausgleichung sehr schnell, in wenigen Minuten. Die Aus-

nicht gern unnöthig starke Reize zuführen, und ausserdem hat man ja oft Veranlassung, mit untermaximalen Reizen zu arbeiten; und da ist der Muskel sehr empfindlich gegen Variationen. Es hat sich fast unmöglich gezeigt, sicher gleiche Oeffnungs- oder Schliessungsinductionsschläge zu erzeugen. Auch auf die Condensatorentladungen kann man sich nicht unter allen Umständen verlassen. Deshalb haben einige Forscher sich zu den elektromagnetischen Inductionsströmen gewendet und lassen, z. B. wie v. Kries, eine Metallscheibe mit eingefügten Eisenstücken zwischen den Polen zweier Elektromagnete votieren. Der eine Elektromagnet wird durch einen constanten Strom magnetisirt, während die in der Drahtrolle des anderen, jedes Mal ein Eisenstück passirt, inducirten Ströme zum Muskel oder Nerv geleitet werden.

Ich habe es bequemer und einfacher gefunden, die Ströme durch permanente Magnete zu induciren. Sie werden dabei auch von möglichen Wechselungen der Spannung des Stromerzeugers unabhängig, wodurch die Zuverlässigkeit des Apparates auch viel gewonnen hat. Der Apparat in seiner jetzigen Gestalt hat mehrere Entwicklungsphasen durchgemacht und ist nun in zwei für verschiedene Aufgaben geeignete Formen auskrystallisirt. Die eine Form, welche eine vielseitigere Anwendung zu genügen beansprucht, hat einen kräftigen Hufeisenmagnet mit zwei Polstücken aus weichem Eisen, welche mit ganz feinem isolirten Kupferdraht umwickelt sind (siehe Taf. I Fig. III). Zwischen den Polen ist ein Abstand von 15^{mm}. Der Magnet ist an einem Schlitten angebracht, welcher an meinem rotirenden Federmyographion zu befestigen und dabei mittels Schraube in der Richtung des Radius des Myographoylinders zu bewegen ist. An der Axe des Myographion ist nun anstatt des Cylinders eine runde Metallscheibe aufgesteckt, und am Rande dieser Scheibe können 12^{mm} dicke cylindrische Eisennägel radiär eingeschraubt werden, welche bei Drehung der Scheibe, zwischen den Magnetpolen vorübergehend, für einen Augenblick die magnetischen Kraftlinien sammeln und eine doppelphasige Stromschwingung in den Drahtwindungen induciren. Dank dem zuverlässigen Laufe des Federmyographions werden diese Ströme einander völlig gleich für dieselbe Lage des Magnetes und Widerstandes der Leitung. Die nöthigen Veränderungen der Reizstärke bewirkt man am liebsten durch Verschiebung des Magnetes. Freilich kann man auch durch Veränderung der Umlaufszeit des Federmyographions die inducirende Wirkung modificiren, dabei ändert man aber auch die Schwingungszeit und verwickelt die Experimentalbedingungen durch Einführung einer neuen Veränderlichen. Mehrmalige Reize in beliebigem Rhythmus sind leicht dadurch herzustellen, dass man

mehrere grössere Eisennägel in den Rand der Scheibe mit geeigneten Zwischenräumen einschraubt. Der Rhythmus kann natürlich auch durch Veränderung der Umlaufgeschwindigkeit abgestuft werden.

Das andere Magnetinductorium ist kleiner und einfacher (Taf. II). Es ist auch nur für Einzelreize eingerichtet. Will man es zu häufigen Reizungen oder zum Tetanisiren brauchen, dann muss es mit einem Motor verbunden werden. Der Apparat besteht aus einem festen Hufeisenmagnet mit Polstücken (r) aus weichem Eisen und auf diesen geschobenen Drahtspulen. Der Anker (b) ist mit der Axe beweglich und kann längs derselben verschoben werden. Durch Umlegen der Kurbel (a) wird eine Feder gespannt, welche eine halbe Umdrehung des Ankers bewirkt, der dann an den Polen mit immer derselben Schnelligkeit vorüber passirt und Ströme inducirt, deren Stärke durch Verschiebung des Ankers an der Axe zu bemessen sind.

Dieser Apparat steht immer ohne Weiteres zum Gebrauch fertig, liefert stets dieselbe wohlbekannte und leicht graduirte Wirkung und eignet sich ebensogut zur Reizung der Muskeln wie der Nerven.

Ergebnisse.

Ich beabsichtige nicht, eine ausführliche Darstellung meiner Untersuchungen mit dazugehörenden Protokollen, Ziffern und Curven zu bringen. Meine Bestrebung war auch nicht ein Beweismaterial zusammenzubringen, um proclamirte Folgerungen zu erhärten. Vielmehr war mein Ziel, mich so einzurichten, dass ich, auch vor mehreren Zuschauern, Experimente vorführen könnte, welche die hier hergehörenden Fragen wenn möglich entschieden beantworteten. Dieses Ziel glaube ich auch erreicht zu haben. Bei mehreren Gelegenheiten habe ich vor interessirten Personen und auch vor kleineren Gesellschaften die experimentellen Antworten mancher der wichtigsten und interessantesten Fragen demonstrirt und die Gefahr, dass die Experimente „nicht gelingen“ könnten, ist kaum grösser als bei gewöhnlichen physikalischen „Schulversuchen“. Es handelt sich nicht mehr darum, nach statistischen Formularen ein buntes Material zu behandeln, um daraus von zufälligen Einmischlingen wahrscheinlich mehr oder weniger freie Resultate herleiten zu können, sondern die Forderung ist so hoch gestellt, dass ein jedes Experiment wenn möglich entscheidend sein soll, und also sämmtliche absichtlich unter gleichen Umständen vorgebrachte Versuche dieselbe Antwort abgeben sollen.

Dabei sind zwei wichtige Umstände zu beachten. Erstens, dass der eine Muskel sich nicht dem anderen völlig gleich verhält. Nicht

so, dass es einen qualitativen Unterschied zwischen der Wärmeleistung verschiedener Muskeln unter wechselnden Verhältnissen gebe. Eine Andeutung an etwas dergleichen haben meine zwar nur auf Froschmuskeln beschränkten Versuche nicht abgegeben. Dagegen ist ein quantitativer Unterschied hinsichtlich der Wärmeproduction verschiedener Muskeln ganz unverkennbar, oft sogar stark hervortretend; und ebenso wechseln die Wärmeausschläge desselben Muskels bei verschiedenen Zeitmomenten in Folge verschiedener früherer Behandlung u. s. w. Wir haben deshalb kein Recht zu fordern, dass der numerische Ausdruck der Grösse der Wärmeproduction von der Individualität oder von dem Zustande des Muskels im Momente des Versuches unabhängig sein sollte.

Der andere zu beachtende Umstand ist, dass nicht alle Fragen solcher Natur sind, dass sie an und für sich klar angeben, wie der Versuch eingerichtet sein muss, um die Frage zu entscheiden. Manchmal ist es im Gegentheil mehr als misslich, zu finden, wie man der experimentellen Lösung zu Leibe kommen soll, oder abzumachen, ob die bei den Experimenten gefundenen Ziffern als der richtige Ausgangspunkt angewendet werden können, um die Antwort zu formuliren. Wenn auch die Methoden, die Wärmeproduction zu messen, noch so empfindlich und zuverlässig sein mögen, so kann man doch nicht jede Frage, die damit zusammenhängt, mit einem Schlage erledigen. Es wird eine Anzahl Fragen übrig bleiben, deren Lösung Schwierigkeiten bereiten und den Scharfsinn der Forscher auf die Probe stellen. Ich hatte das Missgeschick, mit ein paar Fragen anfangen zu müssen, wo der mir zu Gebote stehende Scharfsinn nicht genügte, eine solche Form der Versuche zu finden, dass die Antworten ganz entscheidend und unanfechtbar ausfallen.

Hier folgen die wichtigsten meiner bis heute gewonnenen Ergebnisse auf diesem Gebiete.

Die Wärme des ruhenden Muskels.

Meine Experimente beschäftigen sich nur mit überlebenden, circulationslosen Froschmuskeln, und es ist zu vermuthen, dass die Verhältnisse etwas anders bei lebenden Muskeln, vor Allem bei denen der homiothermen Thieren sich gestalten dürften.

Die erste zu beantwortende Frage scheint mir diese zu sein: Erzeugt der überlebende Muskel im ruhenden Zustande nachweisbare Wärmemengen?

Diese Frage ist, so viel ich weiss, neu. Ob man gemeint hat,

sie biete zu wenig Interesse, oder ob man die Antwort für selbstverständlich gehalten hat, lasse ich dahin gestellt sein. Sie ist doch nicht so ganz unwichtig. Man hat ja schon den Stoffumsatz des überlebenden Muskels, besonders die gasförmigen Umsatzproducte betreffend, zum Gegenstand langer und mühsamer Untersuchungen gemacht, welche freilich noch nicht als beendet anzusehen sind. Will man sich nicht damit begnügen, einen steten Umsatz festzustellen, sondern hält es der Mühe werth, den dabei sich abspielenden Processen etwas näher zu treten, so gehört auch dazu, ihre daraus resultirende Wärmetönung zu bestimmen. Im Schlusstadium der Existenz des überlebenden Muskels, da er in Todtenstarre übergeht, was ja von Manchen als der letzte Lebensact des Gewebes, als die letzte Aeusserung seiner Vitalität betrachtet wird, glaubt man eine manchmal nicht unbedeutende Wärmeentwicklung gefunden zu haben, und dass dies zutrifft, wenn der Muskel durch Erwärmung zu schneller Erstarrung gebracht wird, ist experimentell gezeigt worden.¹ Wann dies wärmeproducirende Stadium anfängt und wie es eingeleitet wird, ist wenig untersucht worden. Es ist ja nicht undenkbar, dass diese Wärmeentwicklung schon früh beginnt, um nach einem steten Zuwachs ihr Maximum auf der Höhe des Erstarrungsprocesses zu erreichen. Jedenfalls kann die Frage nicht auf apriorischem Wege entschieden werden.

Ausser dem mehr theoretischen Interesse, das uns also an die experimentelle Lösung dieser Frage mahnt, hat die Sache auch eine relativ praktische Seite, indem die Deutung gewisser Ergebnisse meiner Untersuchungen, von welchen unten berichtet wird, sich einigermassen hieran anknüpft.

Wie man die Frage experimentell entscheiden sollte, schien mir Anfangs ganz einfach. Meine ersten Experimente stützten auch diese Meinung, die aber durch spätere Erfahrungen wesentlich modificirt wurde.

Auf zwei Wegen bin ich nun an diese Experimente herangetreten. In einigen Versuchen brachte ich in den thermometrischen Apparat zwei symmetrische Muskeln eines Frosches ein, nachdem ich den einen Muskel durch Erwärmen oder durch Vergiftung getödtet hatte. In anderen Versuchen liess ich beide Muskeln unverzehrten, aber zwischen dem einen Muskel und der ihm nächsten Löthstelle schob ich eine wärmeisolirende Schicht hinein, welche aus 0.25^{mm} starken Films

¹ W. Dybowski und A. Fick, Ueber die Wärmeentwicklung beim Starrwerden des Muskels. *Vierteljahresschrift d. naturf. Gesellschaft in Zürich*. Jahrg. 1867. Myotherm. Untersuch.

bestand. Bei allen diesen Versuchen beobachtete ich die Lage des Nullpunktes am Galvanometer sowohl vor Einführung des Präparates, als während des Aufenthaltes der Muskeln in der Kammer, und nachdem sie aus der Kammer entfernt waren. Als Messinstrument habe ich nicht nur die Apparate *F* und *G*, sondern auch *D* versucht.

Die ersten Versuche führte ich mit Galvanometer *F* aus. Er gab während mehrerer Stunden einen deutlichen positiven Ausschlag, zeigte also eine höhere Temperatur der den lebenden Muskel berührenden Löthstelle an. Die Grösse der Ausschläge wechselte etwas bei den verschiedenen Muskelpräparaten, aber nicht mehr, als dass man es füglich entweder aus individuellen Verschiedenheiten, welche von Nahrungs- und Gesundheitszuständen des Thieres, von welchem das Präparat genommen war, herleiten konnte, oder anderenfalls auch zum Theil aus der Zimmertemperatur, von welcher die Froschmuskeln gewissen Experimenten gemäss (s. Litteraturübersicht 23 und 24) sehr beeinflusst werden.

Die Experimente mit dem Galvanometer *D* liessen die Frage ganz unentschieden. Die ausserordentliche Empfindlichkeit dieses Apparates gegen strahlende Wärme macht es, dass er kaum zum Stillstehen zu bringen ist. Er hat praktisch genommen keine Nulllage und deshalb werden Ausschläge, welche sich über längere Zeitdauer erstrecken, für völlig werthlos. Hierzu kommt, dass man die beiden Muskeln schwerlich so placiren kann, dass sie gleich weit von den bezw. Löthstellen kommen und ihnen gleich grosse Oberflächen zuwenden, was unumgängliche Bedingungen sind, um einen exacten Vergleich zwischen den bei dieser Art von Versuchen von den Muskeln ausstrahlenden Wärmemengen anstellen zu können.

Der erste Versuch mit Galvanometer *G* gab auch ein positives Resultat; in den folgenden Versuchen aber wurden die Ergebnisse sehr wechselnd und forderten zur Vorsicht bei der Schlussfolgerung auf. Es wäre wohl denkbar, dass z. B. die Muskeln, welche in den ersten Versuchen so deutliche Wärmeausschläge gaben, Zusammenziehungen ausgeführt haben und dem zu Folge erwärmt worden sind. Sonst ist es ja nicht so ungewöhnlich, dass Froschmuskeln, die in der Luft hängen, fibrilläre Zuckungen, aber auch Totalzuckungen mit dauernden Verkürzungen aufzeigen, besonders wenn sie vorher stark gereizt waren. Das letztere trifft bei meinen Versuchen zwar nicht zu, auch habe ich nicht beobachtet, dass fibrilläre Zuckungen eines unbelasteten Muskels irgend eine merkbare Erwärmung bewirkt haben. Aber die Möglichkeit, dass Zusammenziehungen vorgekommen sind und die Ausschläge veranlasst haben, welche ich in meinen ersten Versuchen

notirte, ist nicht ausgeschlossen. Ich machte dann neue Versuche, aber so, dass ich von dem lebenden Muskel einen Draht durch den Boden der Kammer zu einer Schreibvorrichtung zog, und also im Stande war, zu beobachten, ob der Muskel Zuckungen ausführte. In keinem der folgenden Versuche zeigte der Muskel eine Spur der Verkürzung, und die Ergebnisse dieser Versuche, welche alle mit Apparat *G* ausgeführt wurden, wurden noch immer wechselnd, wenn auch überwiegend positiv.

Die Versuche mit zwei unverzehrten, überlebenden Muskeln, von welchen der eine durch ein Filmblättchen von seiner Löthstelle geschieden war, scheinen ja auch ziemlich frei von dem Verdacht zu sein, dass der Ausschlag von Muskelzusammenziehungen herkommen sollte, da dann in diesen Versuchen beide Muskeln sich zusammenziehen müssten. Wenigstens war für den einen Muskel nicht mehr Grund vorhanden, in Thätigkeit zu gerathen, als für den anderen. Die Ausschläge wurden in dem ersten mit dem Apparat *F* ausgeführten Versuche klein, aber einheitlich; nicht so bei den späteren, mit dem Apparat *G* ausgeführten. Dies hing aber, wie die nähere Prüfung zeigte, von einem groben Fehler bei Ausführung der Versuche ab.

Die Experimente wurden so gemacht, dass ich erst die Nulllage des Galvanometers bestimmte, nachher die Kammer aufmachte und das Präparat hineinbrachte, die Kammer wieder schloss und nach einer halben Stunde oder mehr die Galvanometerausschläge in bestimmten Zeiträumen zu beobachten anfang, damit einige Stunden (oder Tage) fortfuhr, um endlich die Kammer nochmals zu öffnen, das Präparat herauszunehmen, sie wieder zu schliessen und endlich die Nulllage nochmals zu controliren. Ich bemerkte nun freilich Unterschiede zwischen der zuerst beobachteten und der letzten Nulllage, ahnte aber nicht, wie viel das zu bedeuten hatte, weil der Galvanometer sonst tagtäglich fast unbeweglich stand, d. h. innerhalb eines sehr kleinen Bereiches, dessen Grösse doch nach der Entfernung des Richtmagnetes und der Beschaffenheit des Wetters wechselte, oscillirte. Ich war deshalb allzu geneigt, anzunehmen, dass etwas im Zimmer oder am Apparate während der Versuchsstunden von seinem Platze gerückt war. Da aber die Ausschläge nicht länger in demselben Sinne währten, machte ich endlich eine nähere Untersuchung, wobei ich entdeckte, dass eine Drehung der cylindrischen Hülle der Muskelkammer um ihre Axe eine Derivation des Magnetes veranlasste. Eine solche Drehung aber war nicht ausgeschlossen, wenn der Cylinder, um die Kammer zu öffnen und zu schliessen, entfernt und wieder angebracht wurde. In Apparat *F*

war die Hülle mit Bajonettverschluss zu befestigen und wurde deswegen immer in derselben Lage fixirt. In Apparat *G* war zu dieser Zeit keine Anstalt getroffen, um dem Cylinder immer dieselbe Stellung zu sichern.

Die Fehler waren leichter zu beseitigen, als gefunden. Nachdem wurde ein neuer Versuch gemacht mit Muskeln eines kürzlich aus dem Aquarium geholten Frosches, doch gaben sie keinen Wärmeüberschuss für den lebenden Muskel. Dagegen lieferten sämtliche Versuche mit Muskeln von Fröschen, die seit einigen Tagen im erwärmten Zimmer verweilten, positive Resultate solcher Grösse, dass sie Zweifel kaum gestatteten. Später werde ich zeigen, dass man ein Kriterium, dass der Muskel Wärme an die Thermoleitung abgibt, schaffen kann. Dies Kriterium wurde in den folgenden Versuchen selten vermisst.

Als schliessliches Ergebniss bleibt noch übrig: dass nicht alle überlebenden, ruhenden Froschmuskeln nachweisbare Wärmemengen frei machen, aber die meisten und besonders die höher temperirten (Zimmertemperatur) thun es.

Wahrscheinlich ist der Unterschied nur quantitativ. Weitere Untersuchungen sind aber erforderlich, um dies endgültig festzustellen.

War die erste Frage, ob der ruhende Muskel Wärme frei macht, neu, so ist dagegen die zweite, ob der ruhende Muskel bei der Dehnung erwärmt wird, um so älter. Heidenhain behauptet, auf seine Experimente sich stützend, dass die Dehnung des Muskels mit keiner Wärmetönung verknüpft sein sollte, und meint, dass die entgegengesetzten Beobachtungen auf Experimentirfehlern beruhen. Doch sagt er nicht, wo diese Fehler stecken, oder wie es ihm selbst gelungen ist, ihnen zu entgehen. Es ist mir noch heute unerklärlich, wie ihm bei den Ausführungen seiner Experimente Ausschläge bei den Dehnungen in der Regel entgehen konnten. Ausser J. Steiner haben diejenigen, welche mit Heidenhain's und anderen Methoden arbeiteten, auch angegeben, dass die Muskeln durch Dehnung erwärmt wurden. So ist es auch denen ergangen, welche mit Fick's Apparaten gearbeitet haben.

Für mich ist die Frage noch heute nicht völlig entschieden. Es wäre nicht leicht, alle die Versuche zu zählen, welche ich im Laufe der Jahre gemacht habe, um Klarheit hierüber zu bekommen. So lange ich mit Fick's Apparaten arbeitete, waren die Ergebnisse in dieser Hinsicht nur sehr selten zweifelhaft, wenigstens in Beziehung auf die Richtung der Ausschläge, wenn auch deren Grösse innerhalb recht weiter Grenzen wechselte. Nachdem ich andere Methoden versucht

hatte, bekam ich in der Regel die gewöhnlichen Ergebnisse, aber allmählich und in dem Maasse, wie ich mehrere und schärfere Methoden zu verwenden anfang, ergaben sich öfter entgegengesetzte Resultate.

Es gab eine Zeit, wo es mir vorkam, als ob die Belastung des Muskels einen Wärmeausschlag, und die Entlastung einen Abkühlungsausschlag gab; wenn die Zimmertemperatur im Zunehmen, und das entgegengesetzte, wenn die Zimmertemperatur im Sinken war. Oefters ist das Muskelpräparat im Anfange einer Versuchsserie durch Wasserverdunstung abgekühlt, und oft auch die Muskelkammer aus derselben Veranlassung kälter als die Luft des Arbeitszimmers und die durch Vermittelung der Leitungsdrähte von dieser Luft her erwärmten Thermoelemente. In diesem Stadium treten die Wärmeausschläge bei Belastung auf, und war die Kammerluft unvollständig angefeuchtet oder ungenügend verschlossen, so dass die Abdunstung von den Muskeln und Kammerwänden die Temperatur des Präparates unter der des Zimmers fortwährend behielt, blieben die Verhältnisse dauernd und die Dehnungsausschläge unverändert, wenigstens zur Richtung. War aber die Muskelkammer gut gefeuchtet und geschlossen, wurde der Temperaturunterschied zwischen Präparat und Thermosäule nach und nach ausgeglichen, und in demselben Maasse nahm die Grösse der Dehnungsausschläge dann auch ab. Ein zweites Stadium trat nun ein, wo Belastung und Entlastung keine thermischen Wirkungen hervorzubringen schien. Dies unter der Voraussetzung, dass die Zimmertemperatur unverändert blieb. Wurde endlich der Muskel durch Arbeit wärmer (oder die Säule, z. B. in Folge einer plötzlichen Senkung der Zimmertemperatur abgekühlt), so vertauschten sich die Verhältnisse. Die Belastung des Muskels gab einen Abkühlungsausschlag, seine Entlastung einen Wärmeausschlag — drittes Stadium.

Nachdem mir dies bekannt geworden war, sind mir nicht selten Versuchsserien begegnet, wo die Dehnungen Anfangs stattliche Wärmeausschläge gaben, welche aber im Laufe der Versuche durch die allmähliche Erwärmung des Muskels kleiner und kleiner wurden, dann durch den Nullwerth passirten und endlich negative Werthe annahmen, also alle drei Stadien durchmachten.

Diese Erscheinung zeigt sich ziemlich unabhängig von der Beschaffenheit des wärmemessenden Apparates. Doch werden die Ausschläge kleiner, *ceteris paribus*, bei den Aufstellungen, welche die Verschiebung zwischen Muskel und Säule beschränken. In dieser Verschiebung haben wir ohne Zweifel die wesentliche Veranlassung dieser Ausschläge zu suchen. — Wenn der Muskel belastet wird, schmiegt er sich nicht mehr so vollständig an die Thermosäule, deren gemein-

same Berührungsfläche wird vermindert. Ist dann der Muskel kälter als die Säule, so wird die Folge ein Wärmearauschlag sein, ist aber der Muskel wärmer, tritt das Entgegengesetzte ein, und wenn beide gleich warm sind: Null. Denn die Ueberführung der Wärme zwischen Muskel und Säule steht natürlich im geraden Verhältniss nicht nur zum Temperaturunterschiede, sondern auch zur Grösse der Contactfläche dieser beiden. Dies ist ohne Zweifel die wichtigste Ursache und die wichtigste Erklärung dieser Ausschläge.

Hier begegnet uns nun das oben S. 98 erwähnte Kriterium, durch deren Hülfe wir in den meisten Fällen entscheiden können, ob der Muskel zur Thermoleitung Wärme abgibt, oder im Gegentheil diese an jenen. Solche Verhältnisse treten, von Form und Lage der Säule deutlich unabhängig, ein, werden aber einen um so geringeren Effect hervorbringen, je weniger die Grösse der Berührungsfläche wechselt, und deswegen auch geringer bei den Apparaten, wo die Thermosäule sich den Muskeln nahe bei ihrem Ausgangspunkte aus der Symphyse, welche die Lage der Muskelfäden hier wesentlich bindet, anlegt. Aber auch hier vermisst man diesen Effect nicht ganz, und damit stimmt gut die leicht zu machende Beobachtung überein, dass auch bei dieser Befestigungsweise der Muskel durch die Belastung schmaler wird und dabei einen Theil der Thermoleitung, den er früher bedeckte, entblösst. Es ist also mittelbar, d. h. durch die Leitung der Kupferlamelle, die Wärmetönung an die Lóthstellen übermittelt wird. Diese Leitung erfordert etwas Zeit, und hiermit ganz übereinstimmend zeigt es sich, dass diese Ausschläge verspätet und zögernd nach der allgemeinen Gestalt bedeutend verschieden von den mit den Muskelzuckungen gewöhnlich verbundenen Ausschlägen einhergehen.

Eine erschöpfende Erklärung der wechselnden Dehnungsausschläge ergibt das oben Angeführte wohl nicht, denn es giebt noch einen oft complicirenden Umstand zu beachten. Es kann nämlich leicht vorkommen, und Veranlassungen fehlen selten, dass der Muskel nicht überall dieselbe Temperatur hat. Giebt es dann eine Verschiebung zwischen Muskel und Säule, so kann es leicht geschehen, dass die Säule theilweise wärmere oder kältere Muskelemente berührt und also Ausschläge in der einen oder anderen Richtung zum Vorschein kommen. Eine solch' verschiedene Temperatur innerhalb eines Muskels kann man sich als in verschiedener Weise entstanden denken, und die vollständige Ausgleichung dürfte nur verhältnissmässig langsam erfolgen. Ist z. B. der Muskel, wenn er in den Apparat gebracht wird, kälter als die Säule, so wird die Säule am nächsten und meistens den Theil

des Muskels erwärmen, den sie berührt, und jede Verschiebung zwischen Muskel und Säule lässt nacher diese zum Theil in Berührung mit kälteren Muskelementen kommen — und der Ausschlag ist da. Solche Ausschläge werden an sich aus leicht einzusehenden Gründen ziemlich unbeständig, veranlassen und erklären das Auftreten schnellerer, sonst unmotivirter Wechselungen der Grösse der Dehnungsausschläge. Diese Wechselungen werden deshalb kleiner, je vollständiger den Verschiebungen zwischen Muskel und Säule vorgebeugt wurde, und je besser es gelungen ist, das Aufkommen von Temperaturunterschieden innerhalb des Präparates zu verhüten. Deshalb gaben auch die Versuche mit Aufstellung *G* nicht nur die kleinsten, sondern auch die gleichmässigsten Dehnungsausschläge.

Da aber diese Ausschläge im Laufe der Versuche nicht nur in der Grösse, sondern auch in der Richtung wechseln, so ist es klar, dass die Hauptfrage, ob diese Muskeldehnung Wärme giebt oder nicht, noch unentschieden bleibt. Die Ausschläge, welche ich bekommen habe, können ja theilweise von Dehnungswärme abhängig gedacht werden. Aber sicher ist, dass dann diese Wärme unbedeutend sein muss, und da der ganze Dehnungsausschlag, den ich mit dem *G*-Apparat bekommen habe, auch wenn er am grössten war, in der Regel kleiner ausfiel als der Wärmeausschlag nach einer freien maximalen Zuckung, so kann die Dehnung an sich nur sehr kleine oder gar keine Wärmemengen frei machen. Ich halte es deshalb nicht für unwahrscheinlich, dass Heidenhain in Hinsicht auf den Schlussatz recht gehabt hat, dass also die Dehnung des Muskels nicht mit irgend einer Erwärmung verbunden ist, und ich erachte es fast als bewiesen, dass die Wärmemengen, welche unter solchen Bedingungen im Muskel frei werden, jedenfalls weit geringer sind als diejenigen, welche im Allgemeinen bei der Muskelarbeit erscheinen.

Ehe ich das Capitel über die Wärmeverhältnisse des ruhenden Muskels abschliesse, möchte ich mit einigen Worten ein anderes hierhergehöriges Experiment erörtern. Wenn man schnell nach einander einen Muskel belastet und entlastet — also man lässt ihn eine kurzdauernde Dehnung erleiden —, so nimmt der Muskel bald die Gestalt wieder, welche er vor der Dehnung hatte, wenigstens dieser am nächsten. Damit er die frühere Form genau annehmen soll, ist etwas längere Zeit von Nöthen. Ist nun ein solches Experiment vorübergehender Dehnung mit irgend einer Wärmetönung verbunden?

Diese experimentelle Entscheidung ist weniger verwickelt, als bei der vorhergehenden Frage, da der Muskel beim Schluss jedes Versuches

thermischen Untersuchungen zur Anwendung. Aber auch die elektrischen Reize scheiden sich in mehrere Arten. Sie können den Muskel direct treffen oder indirect durch den Nerv, und sie können äusserst kurzdauernde Inductionsschläge, sog. Momentreize oder langsamer verlaufende Stromschwankungen, sog. Zeitreize sein. Metzner stellte vergleichende Versuche an, um zu ermitteln, ob diese vier verschiedenen Reizungsarten, directe und indirecte Momentreize und directe und indirecte Zeitreize die Wärmeproduction des Muskels in ungleichem Maasse beeinflussen. Es war aber nicht so leicht, den Einfluss der verschiedenen Reizarten mit einander zu vergleichen, da man nicht gut bestimmen kann, ob und wann man gleich starke Reize angewandt hat. Metzner braucht, mit Recht oder Unrecht, die Aehnlichkeit der mechanischen Leistungen als Kriterium für die Gleichheit der Reizstärken. Was er in seinen Versuchsprotokollen vorgebracht hat, scheint mir nicht genügendes Material zur Entscheidung der Frage abzugeben.

Auch meine auf dieselbe Frage hinzielenden Versuche haben noch nicht zu völlig entscheidenden Ergebnissen geführt. Die Schwierigkeit, ganz gleiche Momentreize zu bekommen, legen der unmittelbaren Lösung der Frage bedeutende Hindernisse in den Weg. Ich habe aber diese Schwierigkeit dadurch umgangen, dass ich mehrere Momentreize verschiedener Stärke verwendete, die aber so gewählt waren, dass ein oder einige etwa mittelgrosse, d. h. halbmaximale Zuckungen ergaben. Allsdann suchte ich mit Hülfe des Magnetinductoriums den Zeitreiz auf, der ebenso hohe Zuckungen ergab. In allen Versuchen wurden die Wärmeausschläge aufgezeichnet. Eine Vergleichung zwischen den Wärmeausschlägen, welche gleich hohen Zuckungen angehörten, war dann leicht durchzuführen. Da aber die Ergebnisse nicht ganz übereinstimmend in allen Versuchsserien wurden, so sah es so aus, als enthalte die Frage eine Complication. Man wird wohl nächstens daran denken, dass es sich auch hier um einen Unterschied der Contractionszeit handeln könnte, um so mehr, als man behauptet hat, dass der Zeitreiz die Zuckungszeit verlängern sollte. Die Antwort muss dann vorläufig für nähere Prüfung ausstehen. Dies geht aber aus meinen Versuchen hervor, dass directe moment- oder zeitge reizte Muskeln oft gleiche Wärmemengen bei gleich hohen Zuckungen abgeben. Unentschieden bleibt dagegen, warum es nicht immer so geschieht, und worauf ein bisweilen vorhandener Unterschied beruhen kann.

Die nächste Frage wird die sein: Wie verhält sich die Wärmeproduction zur Reizstärke?

Dass Reize verschiedener Stärke eine ganz wesentlich verschiedene Wirkung auf die Wärmeproduction ausüben, ist unzweifelhaft. Man könnte wohl geneigt sein, a priori anzunehmen, dass die Reizstärke allein die Grösse der chemischen Processe, welche sie einleitet, bestimmte, und das Entgegengesetzte ist wohl nicht sicher bewiesen, ob schon es andererseits unstreitig ist, dass die in den Formen mechanischer Arbeit und Wärme erscheinenden Energieumwandlungen auch von anderen, dem Reize beigeordneten Faktoren abhängen.

Es ist ja bekannt, dass, wenn wir einem Muskel Einzelreize zuführen, welche von Null allmählich wachsen, so berühren wir erst ein Gebiet, wo die Reize unwirksam scheinen; es kommt dann ein Punkt, wo der Reiz die ersten Spuren einer Contraction hervorbringt, die sog. Reizschwelle. Jenseits dieser Grenze geben die Reize Anfangs schnell wachsende Zuckungen; nach und nach wird der Zuwachs kleiner, und die Zuckungshöhen nähern sich asymptotisch einem oberen Grenzwerte, der sog. Maximalzuckung. Dies soll aber kein absolutes Maximum sein, denn wenn wir die Reizstärke immer weiter steigern, kommen wir schliesslich zu einem Punkte, von dem ab die Contractionen wieder wachsen, und nun Uebermaximale genannt werden. Doch ist es nicht völlig abgemacht, dass diese übermaximalen Zuckungen aus Einzelreizen hervorgehen und nicht etwa auf doppelten Reizungen beruhen, wozu die üblichen Reizmethoden gar zu leicht Veranlassung geben. Auch die Frage der Maximalzuckung ist noch ziemlich verwickelt und bei Weitem nicht erledigt.

Was uns hier interessirt, ist zu wissen, ob die Wärmeproduction in ähnlicher Abhängigkeit von dem Reize steht oder nicht. — Erstens ist zu bemerken, dass es nicht schwierig ist, so schwache Reize dem Muskel zuzuführen, dass ein Wärmeeffect nicht zu beobachten ist. Misslicher ist es, abzumachen, ob die ersten Spuren frei gewordener Wärme bei derselben Reizstärke erscheinen als die ersten Spuren der Zusammenziehung.

Danilewsky beobachtete Wärmeproduction bei Reizen, die unter der Reizschwelle des mechanischen Effectes lagen. Ich selbst habe keinen wahren Wärmearschlag bei so schwachen Reizen gesehen. Natürlich ist das nicht Grund genug, die Richtigkeit der erwähnten Beobachtungen in Abrede zu stellen. Es giebt aber Umstände, welche wahrscheinlich machen, dass Danilewsky irreführenden Einflüssen unterlegen war. Denn wenn wir die Reizstärke über den Schwellenwerth vermehren, so finden wir, dass die Wärmearschläge wie die Zuckungshöhen wachsen, Anfangs schnell, dann immer langsamer. Wir können also mit den Reizstärken und den entsprechenden Wärme-

ausschlagen als Coordinaten eine Curve construiren. Schauen wir nun diese Curve genauer an, so scheint sie deutlich der Axe der Reize in dem Punkte, der dessen Schwellenwerth entspricht, mit sehr grossem Winkel sich zu nähern, so dass ein Verlauf dieser Curve in merklichem Abstände über diesem Schwellenwerthe eine jähe, sehr unwahrscheinliche Richtungsveränderung voraussetzen sollte. Allerdings müsste sie wenn nicht durch, so doch nahe an diesem Punkte vorbeigehen, was dann Danilewsky's Beobachtungen erklären sollte, wenn er nämlich eine viel empfindlichere Aufstellung als die meinige verwendet hat. Dies ist aber kaum zutreffend.

Da ich aber die endgültige Entwicklung dieser Frage sehr wichtig fand, habe ich ausserdem mehrere Versuchsreihen gemacht, in welchen ich wiederholte Reize, die ein Mal nahe über, das andere Mal nahe unter dem Schwellenwerthe lagen, gebrauchte und übrigens solche Bedingungen einführte, welche die Grösse der Wärmeausschläge möglichst befördern sollte — also grosse Belastung oder isometrische Anordnung bei hoher Ausgangsspannung. Die Reizströme kamen entweder aus dem Magnetisiren als 18 Zeitreize in 0.45 Secunden, oder von einem Cosinusinductorium mit schnell oscillirendem Wagner'schen Hammer und wurden dann dem Muskel jedesmal während 1 Secunde zugeführt. Wie kleine Spuren der Wärme eine jede Reizung hervorgebracht haben möchte, müsste die Summe davon doch merkbar geworden sein. Dies war jedoch nicht der Fall, so lange diese Reizungen auch keine Spur von Contraction hervorbrachten. Um so deutlicher und grösser trat diese Summe hervor, wenn die Reize auch nur wenig über dem Schwellenwerthe lagen.

Aus diesen Versuchen schliesse ich, dass in den von mir untersuchten Muskeln der schwächste Reiz, welcher eine Muskelcontraction bewirkte, auch der schwächste war, der einen Wärmeauschlag gab. Und es scheint mir wenig wahrscheinlich, dass Danilewsky's Muskelpräparate sich anders verhalten haben sollten. Viel wahrscheinlicher ist wohl z. B., dass er minimale Zuckungen in Folge gar zu gewöhnlicher Unvollkommenheiten der Registrirvorrichtungen nicht beachtet hat, oder dass ein anderer Fehler sich hineingeschlichen hat und Galvanometerausschläge aus ganz anderem Grunde als dem vermeinten hervorgebracht worden sind.

Andererseits wird oft erwähnt, dass die Wärmeproduction besonders bei ermüdeten Muskeln nach kleinen, aber doch mechanisch effectiven Reizungen unter der Grenze, wo sie nach Einzelreizen zum Vorschein kommt, gelegen hat. Durch wiederholtes Reizen kann man sie nach meiner Erfahrung doch immer deutlich zeigen. Daraus

geht hervor, dass, wenn Wärmeproduction und mechanische Arbeit möglicher Weise von verschiedenen Functionen des Muskels abstammen, sie doch an Einrichtungen gebunden sind, welche denselben Schwellenwerth der Reizung haben.¹

In Betreff des Verhältnisses der Wärmeproduction bei den Reizen, welche über dem Schwellenwerthe liegen, bin ich mit den früheren Verfassern ganz einig, welche finden, dass die Wärmeproduction wächst, Anfangs schneller, dann immer langsamer, ganz wie die Zuckungshöhen. Da man aber wahrscheinlich bezwecken will, dass die Wärmeproduction schneller als der mechanische Effect wachsen soll, kann ich nicht recht beipflichten. Das eine wie das andere beruht freilich auch auf anderen Bedingungen, als auf der Stärke des Reizes. Sie werden aber mit ganz verschiedenem Maassstabe gemessen, wenn man sie überhaupt messen kann. Den mechanischen Effect einer Zuckung nach der äusseren Arbeit zu schätzen, würde zu Absurdität führen. Diese Arbeit ist z. B. immer Null, wenn der Muskel unbelastet zuckt, oder wenn er so fixirt wird, dass er sich nicht verkürzen kann. Unter solchen Bedingungen ist aber der mechanische Effect gewiss nicht immer Null und sich nicht immer gleich. Auf der anderen Seite wird es auch nicht leicht werden, den activen Reductionscoefficienten für die Wärmeausschläge herauszufinden, so dass diese in dieselben Maasseinheiten wie der mechanische Effect umgerechnet werden können.

Die Frage, ob die Wärmeproduction auch ein Maximum erreicht wie die Zuckungshöhe, beantwortete Fick verneinend für den Fall, dass der Muskel gehindert wird, sich zusammen zu ziehen. Dann sollte die Wärme mit der Reizstärke ins Unendliche wachsen. Die publicirten Versuchsprotokolle bestätigen seinen Ausspruch mit gar zu deutlichen Ziffern, aber eben die Grösse und Regelmässigkeit dieser Ziffern flösst mir Misstrauen ein. Meine Versuche deuten nur darauf hin, dass bei Isometrie das Maximum ein Stück höher an dem Maassstabe gestiegen ist. Möglich wäre ja, dass Fick übermaximale Reize gebraucht oder vielmehr, dass anderswo ein Fehler steckt.

Von wiederholten gleichen Reizen gilt, dass, wenn der Rhythmus so langsam ist, dass die eine Zuckung ganz vorüber ist, ehe die nächste beginnt, der Wärmeeffect einer jeden folgenden Zuckung nur so viel kleiner wird, als der der vorhergehenden, wie von der mit jedem Reize wachsenden Müdigkeit bedingt wird. Der Galvanometerausschlag

¹ Mit den wiederholten Reizen kann man auch zeigen, dass bei Ermüdung die Wärmeproduction wenn auch vermindert, doch nicht völlig vernichtet wird (siehe oben S. 108).

wird nach zwei solchen Reizen doppelt so gross, als nach einem, nach dreien drei Mal so gross u. s. f., mit den Beschränkungen, welche von den Eigenschaften des Galvanometers und den Abkühlungsverhältnissen abhängen. Darin hat man ein werthvolles Mittel, die Zuverlässigkeit sowohl des Reizapparates, als des thermometrischen Apparates zu controliren, eine Controle, deren Anwendung sehr zu empfehlen ist.

Werden die Reize häufiger, so dass der Muskel nicht zwischen den Zuckungen bis zur Ruhelänge zurückgekommen ist, so kommt ein neues Moment hinzu, welches die Wärmeausschläge beeinflusst, wie es den mechanischen Effect verändert. Dies kommt dann im Laufe der folgenden Abtheilung und wird dort näher berücksichtigt.

Endlich wächst, wenn die Reize so schnell einander folgen, dass sie einen dauernden Tetanus hervorrufen, dann auch die erzeugte Wärmemenge mit der Anzahl der Reizungen. — Wenn der Rhythmus zu einem gewissen Punkte gesteigert wird, soll die reizende Einwirkung auf den Muskel, was den mechanischen Effect betrifft, aufhören. Interessant wäre es zu wissen, ob auch die thermische Wirkung bei demselben Rhythmus nachlässt oder nicht. Da ich die sog. Lücke noch nicht, ausser in den Büchern, gesehen habe, kann ich hierüber keine Meinung äussern.

Schliesslich kommt die Frage:

Wie wirken die mechanischen Bedingungen der Arbeit des Muskels auf seine Wärmetönung ein?

Seitdem die bahnbrechende Arbeit Heidenhain's erschienen, befassen sich die meisten Untersuchungen über Muskelwärme mit dieser Frage. Jedoch ist mir das gewonnene Material als etwas sehr Verwickeltes und Chaotisches vorgekommen, was kaum zu verwundern ist, da ja die mechanischen Bedingungen der Muskelarbeit ins Unendliche wechselnd zu denken sind und es noch Niemand gelungen ist, den Ariadnefaden zu finden, der uns aus diesem Labyrinth führen kann.

Es ist mehrere Jahre her, dass ich im Zusammenhange mit meinen myothermischen Untersuchungen ziemlich umfassende Versuche über die Bedeutung verschiedener mechanischer Bedingungen für die Muskelarbeit ausführte und das Wichtigste meiner Ergebnisse und Schlüsse publicirte.¹

Im Anschluss an meine Beobachtungen getraute ich mir eine Muskelcontractionstheorie vorzuführen, die leider wenig beachtet wurde. Doch will ich sie nun wieder anführen, da sie mich jetzt durch das

¹ Die Länge und die Spannung des Muskels, siehe *dies Archiv*. Bd. III bis V. 1893 bis 1895.

thermische Labyrinth zu führen befähigt scheint, wie sie damals, als sie zur Welt kam, mir die Schwierigkeiten des Zusammenhanges der mechanischen Verhältnisse zu entwirren geholfen hat.

Nach dieser Theorie sind die contractilen Elemente des Muskels in der Ruhe stabförmige Protoplasmabildungen, wie Engelmann's Inotagmen, welche in der Längenrichtung der Muskelfibrillen orientirt und von einer flüssigen Substanz umgeben sind. Unter dem Einflusse der Erregung „scheiden“, wenn man so sagen will, diese Stäbe, wie Drüsenprotoplasma, an ihren Oberflächen einen Stoff aus, welcher von der die Stäbe umgebenden Flüssigkeit nicht so sehr „gefeuchtet“ wird, wie diese Oberfläche im ruhenden Zustande. Die Cohäsion innerhalb des Stabes wird dann nicht länger von der Adhäsion der umgebenden Flüssigkeit aufgewogen; alle hervorragenden Theile des Stabes werden gegen das Centrum eingezogen, bis der Stab völlige sphärische Form angenommen hat — wenn nämlich keine mechanischen Kräfte diesen Gestaltveränderungen entgegenwirken. Wie die Gestalt des Muskelfadens und des ganzen Muskels der der contractilen Elemente folgt und sich abspiegelt, fordert keine Erläuterung. Nach dem kommt aber der zweite Act, da diese Elemente und mit ihnen der ganze Muskel wieder die längere Form annehmen. Man muss sich dann denken, dass der an der Oberfläche der Elemente bei der Erregung ausgeschiedene Stoff augenblicklich wieder entfernt wird, entweder dadurch, dass er zu seiner früheren oder zur neuen Zusammensetzung umgewandelt wird, oder dadurch, dass er in der umgebenden Flüssigkeit ganz einfach gelöst wird.

Wir haben hier also entweder, wie Fick vor mehreren Jahren, zwar aus ganz anderen Gründen, vorgeschlagen hat, zwei chemische Processe, der eine für die Contraction, der andere für die Wiederausdehnung, oder einen chemischen Process als Ausgangspunkt für die erstere und einen wesentlich physikalischen für die zweite.

Die kräftigste Stütze dieser Theorie finde ich in dem von mir in derselben Arbeit gezeigten Verhältniss, dass die Kraft des Muskels, sich bei der Erregung zu verkürzen, etwa bei der normalen Länge des Muskels ihr Maximum erreicht und, wenn man sich von dieser Länge entfernt, dadurch dass man den Muskel entweder kürzer oder länger macht, abnimmt. Sie wird Null, wenn der Muskel sich zum Maximum contrahirt hat und die contractilen Elemente die sphärische Gestalt bekommen haben oder ihr so nahe gekommen sind, wie die innerhalb des Muskels wirkenden elastischen Kräfte es gestatten. Die Muskelkraft nimmt aber auch ab, wenn die contractilen Stäbe zu viel verlängert werden, weil dann die gestaltverändernde Wirkung der Ober-

flächenspannung unter ungünstigere Bedingungen kommt.¹ Es muss nicht nur die Contractionskraft schwächer werden, auch die Zusammenziehung muss langsamer einhergehen, was genau übereinstimmt mit schon längst Gekanntem und häufig wiederholten Erfahrungen, nämlich dass bei höheren Belastungen die Zusammenziehung langsamer verläuft, wie auch der dann schnellere Verlauf der Wiederausdehnung ganz begreiflich wird. Ich kenne überhaupt keine andere Muskelcontractionstheorie, welche sich mit allen den mechanischen Verhältnissen der Muskelwirksamkeit so gut verträgt, während sie ebenso gut wie irgend eine der älteren Theorien allen übrigen mit der Zusammenziehung verbundenen Erscheinungen sich anpasst.

Es bleibt nun übrig zu sehen, wie sie sich zur Wärmeproduction des Muskels und ihren Veränderungen unter verschiedenen Verhältnissen stellt. Die oben gezeigte und hervorgehobene nahe Verbindung zwischen Arbeit und Wärmeproduction wird verständlich durch die gar zu plausible Annahme, dass der eine der beiden Processe (die Secretion und die Entfernung des Secrets) oder möglicher Weise beide exothermischer Natur seien. Dass die Secretion wie Contraction und Wärmeproduction durch Aufspeichern von Nahrungsmaterial gefördert werden sollte und eingeschränkt, wenn dies zu mangeln beginnt, ebenso dass sie durch Wärme befördert und beschleunigt, durch Kälte vermindert und zurückgehalten werden sollte, ist völlig übereinstimmend mit unseren Erfahrungen über die chemischen Processe im Allgemeinen und ganz besonders über den biochemischen. Auch erscheint es keineswegs abschreckend anzunehmen, dass die Stärke des Erregungsantriebes den Umfang des eingeleiteten chemischen Processes einigermaassen bemisst. Dagegen treten Schwierigkeiten auf, da die äusseren Verhältnisse, die Einmischung äusserer Kräfte, an seiner Seite Platz greifen, um die Umfassung oder den Verlauf des Processes mit zu bestimmen. Gleichwohl giebt es einen Anhaltspunkt, welcher, genauer betrachtet, diese Schwierigkeiten zu lösen scheint.

Man hat die Wärmeproduction unter allerlei Variationen der äusseren mechanischen Bedingungen geprüft und verglichen. Dabei hat man vor Allem die Arbeit und Spannung des Muskels beachtet. Niemand ist auf den Gedanken gekommen, die Länge des Muskels als die Wärmeproduction zum Theil normirend zu halten.

Freilich kann man die Länge des Muskels als von Zeit, Reizung und Spannung abhängig betrachten. Aber ebenso gut kann man die

¹ J. Bernstein hat neulich die mathematische Begründung dieses Verhältnisses geliefert. Pflüger's *Archiv*. Bd. LXXXV. S. 300 u. f.

Spannung als von Zeit, Reizung und Länge abhängig auffassen; und ich habe in meiner oben erwähnten Arbeit gezeigt, wie dies in manchen Fällen zu vollkommener und richtiger Auffassung der mechanischen Verhältnisse bei der Muskelcontraction führt.

Andererseits scheint es mir ganz unbegreiflich, wo man den vermittelnden Uebergang für den Gedanken finden soll, wenn es gilt, die causale Verbindung zwischen der Spannung in verschiedenen Momenten der Contraction und dem Energieumsatz klar zu stellen. Mit Schenk eine hypothetische, von der Spannung abhängige Erregbarkeitsveränderung einzuschieben, vermehrt nur die Anzahl der Räthsel, ohne etwas zu erklären. Dagegen braucht man nicht viel Phantasie, um das vermittelnde Gedankenglied zwischen der Länge des erregten Muskels in jedem Momente und einen dort sich abspielenden chemischen oder physischen Process zu finden. Ich dachte mir diesen Process in der Grenzoberfläche des contractilen Elementes vor sich gehend. Was ist natürlicher, als dass der Process mit der Grösse dieser Oberfläche zu- und abnimmt. Aber die Grösse dieser Oberfläche beruht auf der Gestalt des Elementes. Sie ist am kleinsten, wenn die Elemente die sphärische Gestalt angenommen haben, und wächst, je mehr die Elemente in der Länge ausgezogen werden.

Wir wollen nun sehen, wie diese Theorie mit den Ergebnissen der Experimente stimmt. Die contractilen Elemente haben die kleinsten Oberflächen, wenn der unbelastete Muskel ad maximum contrahirt ist. Trifft ein neuer Reiz einen Muskel in diesem Zustande, dann müsste die kleinste Wärmemenge, die mit einem derartigen Reize vereinbar ist, frei gemacht werden. Das stimmt auch. Alle Erfahrung geht in diese Richtung. So hat Fick z. B. folgenden Satz geäußert: „Es ist also nunmehr als erwiesen zu betrachten, dass der Stoffwechsel, der bei gleichbleibender Länge durch einen Reiz ausgelöst wird, wenn er die Spannung erhöht, nicht sehr viel grösser ist, als wenn der Reiz bloss Erhaltung einer schon bestehenden Spannung bewirkt, während dagegen ein verkürzender (und folglich Arbeit veranlassender) Reiz einen sehr viel grösseren Stoffumsatz auslöst, als ein eine bestehende Verkürzung bloss erhaltender Reiz.“¹

Der unbelastete Muskel giebt beim Tetanus weniger Wärme als der belastete; er ist ja auch kürzer, und wenn man ihn belastet, wächst seine Länge, aber auch die für jeden Reizimpuls frei gemachte Wärme.

Heidenhain glaubte gefunden zu haben, dass, wenn die Spannung

¹ Myothermische Untersuchungen. S. 270.

über eine bestimmte Grenze reichte, die im Tetanus gelieferte Wärmemenge abnehmen sollte, anstatt zu wachsen, vorausgesetzt, dass der Muskel sich zu verkürzen gehindert wurde; und es liegt ja ganz nahe, dies mit dem von mir gefundenen Verhältniss, dass die Contractionskraft des Muskels über eine gewisse Grenzspannung abnimmt, zusammen zu stellen. Aber die erwähnte Beobachtung Heidenhain's hat wohl Niemand bestätigt, und meine Experimente zeigen entschieden in dieser Richtung, dass, wenn der Muskel gehindert wird, sich zu verkürzen, die Wärmeproduction mit der Muskellänge in infinitum wächst. Diese Versuche gehören übrigens nicht zu den leichtesten. Erstens kann man nicht maximale Reize brauchen, wenn man mit kräftigen Muskeln arbeitet, denn dann bersten sie, reissen sich selbst ab; zweitens wird der Muskel bei jedem Versuche gedehnt, so dass er zu Ende der Contraction eine ganz andere Spannung hat, als er vor der Contraction hatte; endlich muss man, wenn der reizende Strom durch den Muskel geführt wird, dafür Sorge tragen, dass dieser Strom nicht durch Verlängerung des Muskels geschwächt wird, da der elektrische Leitungswiderstand natürlich mit der Länge der zu durchlaufenden Muskelstrecke vermehrt wird.

Folgen die Reize einander nicht so schnell, dass sie einen glatten Tetanus erzeugen, sondern bekommt der Muskel Gelegenheit, sich zwischen den Contractionen wieder auszudehnen, dann wächst zugleich die producirte Wärme, und dies nicht nur per Reiz, sondern oft auch per Zeiteinheit gerechnet. Solche Versuche hat Fick publicirt (siehe Litteratur Nr. 14), und ich habe auch mehrmals demonstrirt, wie z. B. 9 Reize in etwa 0.4 Secunden weniger Wärme geben als 5 in derselben Zeit. Die Reize waren natürlich alle gleich kräftig und auf die Reizzeit gleichmässig vertheilt. Die Spannung wurde die ganze Zeit constant gehalten. Wie sollte man mehr augenfällig machen können, dass es nicht die Spannung, sondern die Länge ist, welche die Menge der producirtten Wärme bestimmt.

Es kann auch nicht viel nützen, von der mechanischen Arbeit als für den Energieumsatz bei diesen Versuchen bestimmend zu sprechen, denn die äussere Arbeit ist ja Null während des Tetanus und bei jeder spannungslosen Zuckung („freien Zuckung“) und bei jeder unverkürzten Zuckung („isometrischen Zuckung“), also in allen diesen Fällen gleich, während die Wechselungen der Wärmeproduction eine ganze Scala durchläuft.

Es ist die sog. freie Zuckung, welche die kleinste Wärmemenge abgibt. Nun habe ich gezeigt,¹ dass jedes Hemmniss einer solchen

¹ Siehe Note 1 S. 110.

Zuckung, welches während der Verkürzungsperiode dem Muskel entgegenwirkt, wie kurz und schwach es auch sein möge, die Zuckungscurve von Hemmungspunkten unter die der freien Zuckung verlaufen lässt. Dies setzt doch voraus, dass der Längenschreiber die wirklichen Längenvariationen des Muskels getreu angiebt und nicht die Curve durch Eigenschwingungen u. s. w. verdreht, wie öfters vorkommt. Von solchen Curven hat man den Satz bekommen: „Arbeit macht Wärme“, anstatt, wie es eigentlich heissen müsste: „Länge macht Wärme“.

Die Sache ist nämlich die, dass, wenn man einen Muskel über eine gewisse Grenze belastet, die Contractionshöhe so schnell vermindert wird, dass auch die Zuckungsarbeit mit steigender Belastung abnimmt. Nun findet Heidenhain, dass auch die Wärmeproduction abnehmen sollte, wenn die Belastung über eine gewisse Höhe gesteigert wird, etwas früher sogar als die Arbeit. Diese Beobachtung ist doch nicht von späteren Forschern bestätigt worden, und meine Versuche geben ganz entgegengesetzte Resultate. Auch bei der Einzelzuckung wächst die Wärmeproduction wie die Länge mit der Belastung in infinitum. Denken wir uns, dass ein Muskel eine Anzahl Zuckungen so ausführt, dass sämtliche bei derselben Muskellänge beginnen und enden, so giebt, gleich starke Reize vorausgesetzt, die Zuckung, deren Verkürzungscurve die grösste Oberfläche umschreibt, die kleinste Wärmemenge, und die Zuckung, welche die kleinste Oberfläche umschreibt, die grösste Wärmemenge. Man kann z. B. den Muskelhebel unterstützen, so dass der Muskel nicht mehr gedehnt wird, als dass sein Hebel zur Stütze hinunter reicht. Dann kann man verschiedene Gewichte zwischen Null und so grossen Massen, dass der Muskel sie nicht von der Stütze erheben kann, als Ueberlast anbringen. Oder man kann mit dem Muskel equilibrierte Massen (Schwungräder oder dergleichen Einrichtungen) verbinden, deren Trägheit der Muskel bei einer Zusammenziehung zu überwinden hat. Oder man kann noch eine Stütze anbringen — einen Ausschlag, welcher die Verlängerung des Muskels nach Belieben beschränkt. Wie viele Andere, so habe auch ich oft bestätigt, dass der Wärmeausschlag in diesen Versuchen mit der Ueberlast, mit der Trägheit der Massen und mit der Nähe des Ausschlages an der Abscisse wächst.

Aus dem hier eben Gesagten folgt nun natürlich nicht, dass Zuckungscurven, welche gleich grosse Oberflächen umschreiben, nothwendig gleich viel Wärme gebenden Zuckungen gehören. Eher sollte man warten, dass verschiedene Lagen eines Oberflächenelementes ganz verschiedenen Wärmemengen entsprächen. Auch dies lässt sich experimentell prüfen. Und aus dieser Prüfung scheint hervorzugehen, dass

die Wärmemenge, welche einer Einheit der Oberfläche entspricht, grösser wird, je näher diese Einheit an den Coordinatenaxen des Myogramms liegt, also einen je tiefer gelegenen Theil der Oberfläche, welche das Myogramm der freien oder isotonischen Zuckung umschreibt, und einem je früheren Abschnitte der Contraction sie gehört. Mit anderen Worten: die Wärmeproduction wächst mehr, wenn die Verkürzung mehr und früher gehindert wird.

Man hat ja auch längst in Frage gestellt, ob Wärme in den beiden letzten Stadien der Zuckung, dem der Verkürzung und dem der Wiederausdehnung, frei gemacht wurde. Es war besonders das letzte, was zur Debatte gebracht wurde. Giebt es im Stadium der Wiederausdehnung eine Wärmeproduction, so könnte man ja warten, dass Veränderungen in den mechanischen Bedingungen für den Verlauf dieses Stadiums auch auf die in der ganzen Zuckung producirt Wärmemenge einwirken sollte.

Diese Frage experimentell zu entscheiden ist nicht so leicht in Erwägung der Schwierigkeiten, alles Andere unverändert zu lassen und die Variationen der Versuchsbedingungen zum Stadium der Wiederausdehnung zu beschränken. Die Versuche, in welchen dies genau eingehalten wurde, sind leicht gerechnet. Man hat z. B. den Muskel an der Verkürzungshöhe belastet oder entlastet und die bei einer solchen Zuckung frei gewordene Wärmemenge mit deren Wärmequantität verglichen, welche man bekommt, wenn keine Veränderung der Belastung während der Zuckung eingeführt wurde. Es müsste aber der Muskel am Ende der Zuckungen, welche zum Vergleich kommen, dieselbe Länge haben, oder widrigenfalls durch besondere Versuche ermittelt werden, ob die Längenveränderung in diesen Versuchen einen Wärmeauschlag gegeben hat und wie gross. Dies ist ja, wie ich oben gezeigt habe, im Voraus nicht zu entscheiden.

Weiter hat man versäumt mitzurechnen, dass in den Versuchen, wo die Belastung bei der Wiederausdehnung am Muskel hängt, oft elastische Schwingungen, d. h. wiederholte Dehnungen des Muskels, entstehen, welche Dehnungen Wärme geben, wenn auch nicht viel.

Vermeidet man solche Fehler, so scheint es, aus meinen allerdings nicht zahlreichen Versuchen zu schliessen, als sollte die Wärmeproduction der Muskelzuckung von solchen Eingriffen, welche ausschliesslich den Verlauf der Wiederausdehnung berühren, keinen merklichen Einfluss erleiden. Die Menge frei gemachter Wärme sollte also, da die Verkürzung ihr Maximum erreicht hat, schon definitiv zugemessen sein und der Verlauf des absteigenden Theiles der Zuckungcurve keine Wirkung darauf ausüben.

Ein gespannter Muskel ist länger als ein ungespannter und giebt auch bei gleich starker Erregung mehr Wärme, und die Wärme wächst, wie oben gesagt wurde, mit der Belastung und Länge. Unterstützt man die Last und hebt die Stütze successive höher und höher so dass der Muskel im Anfange der Zuckungen immer kürzer und weniger gespannt wird, so wird auch die Wärme immer mehr vermindert, bis endlich die Stütze so hoch eingestellt wird, dass der Muskel gar nicht die Last angreift. Wir bekommen dann die minimale Wärmeentwicklung der freien Zuckung. Bei solchen Versuchen wird auch der Verlauf der Spannung mit der Umstellung der Stütze geändert. Doch können wir auch die Länge des Muskels verändern, ohne die Spannung wechseln zu lassen. Dies kann geschehen, wenn auch vorübergehend durch eine starke und dauernde Dehnung des ruhenden Muskels; die Wirkung wird aber nicht bedeutend. Weit mehr leistet eine andere Methode. Gesetzt, wir tragen Sorge, dass die Spannung constant bleibt (isotonische Anordnung), auch, wenn Sie wollen, Null, und dass wir zwei Reize so schnell auf einander folgen lassen, dass die erste Zuckung noch nicht zu Ende ist, wenn die zweite schon anfängt. Der Muskel ist dann im Beginne der zweiten Zuckung „selbst-unterstützt“ und giebt für beide Zuckungen weniger Wärme als für zwei ganz gesonderte Zuckungen. Die Untersuchungen von Schenck und Brandt (30) zeigen zumal, dass die Wärmesumme superponirter Zuckungen am kleinsten wird, wenn die zweite Zuckung eben in dem Momente anfängt, wo die erste ihren Höhepunkt erreicht hat, also wenn die „Selbststütze“ am höchsten steht und der Muskel am kürzesten ist. Beginnt die zweite Zuckung früher oder später, so dass die Selbststütze tiefer eingestellt ist, so sollen zugleich grössere Wärmeausschläge entstehen.

Ich habe nicht so minutiöse Versuche ausgeführt, dass ich die Richtigkeit dieser Beobachtungen im Detail bestätigen könnte, aber die Hauptsache kann ich vollständig bezeugen, dass superponirte Zuckungen weniger Wärme geben, als ebenso viel Einzelzuckungen.

In der eben erwähnten Arbeit untersuchten die Verfasser auch superponirte Zuckungen bei isometrischer Anordnung, und ihre Experimente haben, wie meine Theorie fordert, gezeigt, dass unter solchen Umständen ein Minimum der Wärmeausschläge bei einem Reizintervalle, das der Culminationszeit der ersten Zuckung gleichkommt, nicht zu beobachten war. Alles spricht für die Bedeutung der Länge des Muskels bei der Wärmebestimmung.

In einer früher erschienenen Arbeit (28) stellt Fick neue Fragen auf. Er tetanisirt den Muskel in jedem Versuche während immer

gleicher Zeit und lässt im Tetanus bei dem einen Versuche die Belastung wachsen von Null zu einer bestimmten Grösse, bei dem anderen von derselben Grösse zu Null abnehmen. Fick findet in diesem Versuche eine grössere Wärmeentwicklung und zieht daraus seine Schlüsse über das Verhältniss der Muskelwärme zur Muskelarbeit, welche in jenen Experimenten negativ, in diesen positiv ist und sehr unbequem mit der mechanischen Wärmetheorie und anderen Theorien sich vereinbaren lassen. Die Sache hat aber kaum mit dieser Theorie zu schaffen. Es verhält sich nämlich so, dass, wenn der Muskel in ungespanntem Zustande tetanisirt und so allmählich belastet wird, er eine Dehnungscurve schreibt, welche höher verläuft, als wenn der Muskel im Voraus belastet und während des Tetanus entlastet wird. Im ersten Versuche ist der Muskel und seine contractilen Elemente (Inotagmen) überhaupt kürzer, im zweiten Versuche länger. Darum wird die Wärmemenge dort kleiner, hier grösser.

Eine ähnliche Erklärung kommt dem folgenden Experimente zu. Fick tetanisirte den Muskel während einer bestimmten Anzahl Sekunden, und in dieser Zeit lässt er die Belastung continuirlich wechseln, in dem einen Versuche von Null durch ein Maximum zu Null zurück, im anderen Versuche von demselben Maximum durch Null zur Ausgangsbelastung zurück. Im zweiten Versuche bekam Fick weit mehr Wärme. Wie ich schon 1875 gezeigt habe,¹ verlaufen so geschriebene Dehnungscurven in der zweiten Versuchsform im Ganzen tiefer. Den Grund können wir hier bei Seite lassen. Aber in dieser Erscheinung und nicht anderswo sehe ich die Ursache der verschiedenen Wärmeentwickelungen.

Ich habe die Fick'schen Versuche mit grosser Sorgfalt und ziemlich zuverlässigen und einwandsfreien Einrichtungen nachgemacht und habe dabei die Richtigkeit seiner Ergebnisse völlig bestätigt. Aber ich bin auch Ausnahmen begegnet, welche die Richtigkeit meiner Auffassung noch deutlicher beweisen. Ich brauchte in einigen Experimenten der vorerwähnten Art verhältnissmässig kurzdauernde Tetani, was meine technischen Hilfsmittel vollauf gestatteten, und wodurch die Ermüdung nicht merkbar hervortrat. In einigen dieser Versuche blieb der Unterschied der Wärmeausschläge weg. Da ich nun die mit meinem Muskelindicator von dem Muskel in diesen Versuchen geschriebenen Curven ansah, war ein Höhenunterschied zwischen ihnen nicht zu bemerken. Sie deckten sich fast vollständig. Deshalb war hier ja kein Grund für verschiedene Wärmeleistung vorhanden.

¹ *Upsala Läkareförenings förhandlingar*. Bd. IX. S. 555.

Ich habe schon in dem historischen Theil erwähnt, dass Fick in Folge seiner jetzt berührten Ergebnisse sich eine Theorie geschaffen hat, nach welcher ein isometrischer Tetanus weniger Wärme liefern würde, als ein Tetanus mit Entlastung von derselben Ausgangslänge, aber dass seine diesbezüglichen Controlversuche nicht nach Berechnung ausfielen. Es ist leicht, die Veranlassung zu finden, und ich habe natürlich nicht versäumt, mich davon zu unterrichten, wie die Sache sich verhält. Der isometrische Tetanus giebt die meiste Wärme. Auch hier ist es die Länge des Muskels, welche für die Wärmeproduction bestimmend obenan steht.

Alle meine Versuche sind in dieser Beziehung übereinstimmend. Es giebt aber einige Versuche von Chauveau und Fick, wo der grössere Energieumsatz dem stärker contrahirten, kürzeren Muskel, wenn die Spannung gleich war, oder dem mehr gespannten Muskel, wenn die Länge gleich war, zuzukommen scheint. Aber um dieses Resultat zu erreichen, muss die Reizintensität verändert werden, und es ist natürlich immer diese, welche den Energieumsatz hauptsächlich heherrscht. Der Reiz giebt den Antrieb, der den chemischen Process einleitet, und bestimmt vor allen anderen Faktoren seine Umfassung. Die Verkürzung wirkt auf diesen Process hemmend, dadurch, dass sie die chemisch thätige Oberfläche vermindert.

Die für die Physik des Muskels neuen Ergebnisse, welche aus meinen Untersuchungen hervorgehen, können hauptsächlich in folgenden Sätzen zusammengefasst werden:

1. Die Ausschläge, welche man oft bei den Dehnungsversuchen bekommt, sind wenigstens zum grössten Theil aus Verschiebungen zwischen Muskel und Säule und aus Temperaturunterschieden zwischen diesen und innerhalb des Muskels herzuleiten.

2. Auf dieselben Ursachen sind auch die sog. paradoxen Erwärmungen, die negativen Wärmeschwankungen, verspäteten und saccadierten Ausschläge und Nachwärmungen und die negativen Ausschläge, welche unter gewöhnlichen Versuchsbedingungen bei der Zuckung entstehen, zu beziehen.

3. In dieselbe Kategorie kommen solche Ausschläge bei Zuckungs- oder Tetanusversuchen, welche eine Abnahme zeigen, wenn die Spannung über eine gewisse Grenze hinaus reicht.

4. Auch im ruhenden Zustande macht der überlebende Froschmuskel gewöhnlich Wärme frei.

Versuchs- Nummer	Anzahl d. Reize	Reiz- stärke	Spannung g	Erste Schwing. Millim.	Anmerkungen
1	1	maximal	50 isoton.	2.5	
2	2	"	50 "	5	
3	3	"	50 "	7	
4	1	"	50 "	2	
5	1	"	50 " *	2	* mit nachfolgend. Entlastung.
6	1	"	0-50-0*	3.5	* Ueberlastungszuckung
7	2	"	0-50-0	6	

Spalt einen Augenblick geschlossen.

8	3	maximal	0-50-0	7.5	
9	—	—	0-50-0*	—	* Belastung u. Entlastung des ruhenden Muskels.
10	1	"	0-50-50	4.5	
11	3	"	50 isoton.	7	
12	—	—	Entlastung	—	
13	1	maximal	0 isoton.	2	
14	3	"	0 "	5.5	

Zu Curve II. Versuch vom 10. Juni 1900. Präparat von neu-
gefangener sehr kleiner Temporaria. Indicator; Magnetinductorium.

8 ¹	1	maximal	0-25-0	6	
9	1	"	0-25-0	6.5	
10	2	"	0-25-0	15.5	
11	1	"	0	6.5	
12	2	"	0	11.5	
13	—	—	0-25*	+?	* Belast. d. ruhenden Muskels.
14	—	—	25-0	—?	

Spalt einige Sekunden geschlossen.

15	—	—	0-50	+?	
16	1	maximal	50 isoton.	10.5	
17	2	"	50 "	19.5	
18	2	stärker	50 "	19.5	
19	1	"	50 > 0* 50	9	* Entlastung nicht vollständig.
20	1	"	> 0 50 > 0*	10.5	* Ueberlast nicht vollst. unterst.
21	1	"	0 50 > 0*	9	* Ueberlast höher unterstützt.
22	1	"	0-50-0	5.5	
23	2	"	0-50-50*	11.5	* Gegen Ende des Verkürzungs- stadiums angehängt.
24	—	—	Entlast. —0	—?	
25	2	"	0 0 0	10	
26	—	—	Belast. —50	+?	

¹ In Versuch 1 bis 7 wurden die Ausschläge nicht registriert.

(Fortsetzung.)

Zu Curve III: Versuch vom 19. Juni 1900. Temporaria;
Magnetinductorium.

Versuchs- Nummer	Anzahl d. Reize	Reiz- stärke	Spannung g	Erste Schwing. Millim.	Anmerkungen
1	—	—	0—25	—	
2	1	30 ¹	25—?—25	—	keine Zuckung.
3	1	32	"	—	" "
4	1	34	"	2	Zuckung.
5	1	36	"	4	"
6	1	38	"	4	"
7	1	40	"	5	"
8	1	45	"	5.5	
9	1	50	"	5.5	

Spalt einen Augenblick geschlossen.

10	2 ¹	50	25—?—25	8.5
11	2 ²	50	"	10
12	2 ³	50	"	10.5
13	2 ⁴	50	"	11
14	2 ⁵	50	"	11.5
15	2 ⁶	50	"	10.5
16	2 ¹¹	50	"	10
17	2 ¹⁶	50	"	10.5

Spalt geschlossen — Cylinder verschoben.

18	2 ¹	50	25—?—25	8
19	1	50	"	5
20	3 ¹	50	"	10.5
21	3 ²	50	"	12
22	3 ³	50	"	12
23	3 ⁴	50	"	15
24	3 ⁶	50	"	16
25	3 ⁶	50	"	15
26	13 ¹	50	"	21
27	7 ²	50	"	18
28	4 ⁴	50	"	18
29	1	50	"	5

¹ Die Reizstärke wächst mit den Zahlen dieser Spalte.² Der Exponent deutet die Zeit zwischen den Reizen (in etwa 0.02 Sec.) an.

(Fortsetzung.)

Versuchs- Nummer	Anzahl d. Reize	Reiz- stärke	Spannung g	Erste Schwing. Millim.	Anmerkungen
---------------------	--------------------	-----------------	---------------	------------------------------	-------------

Spalt geschlossen.

30	—	—	25—0	—	
31	1	50	0	3	
32	—	—	0—50	—	
33	1	50	50—50—50	5.5	
34	1	50	50—50—0	4	
35	1	50	0—50—0	5	
36	1	50	0—50—50	6.5	
37	1	50	50—50—50	6	

Zu Curve IV: Versuch vom 15. December 1900:

5	1	30	50 isoton.	10.5	Zuckung.
---	---	----	------------	------	----------

Spalt geschlossen.

6	1	40	50 isoton.	12	
7	1	40	50 isometr.	19	
8	2	40 ¹	50 isoton.	22.5	
9	2	40 ¹	50 isometr.	27.5	
10	2	40 ²	50 isoton.	22.5	
11	2	40 ²	50 isometr.	29	
12	2	40 ³	50 isoton.	25	
13	2	40 ³	50 isometr.	29.5	
14	2	40 ⁵	50 isoton.	26	
15	2	40 ⁵	50 isometr.	37.5	
16	2	40 ⁹	50 isoton.	25.5	
17	2	40 ⁹	50 isometr.	35.5	
18	3	40 ⁹	50 isoton.	36	
19	3	40 ⁹	50 isometr.	50	
20	3	40 ¹	50 isoton.	26	
21	3	40 ¹	50 isometr.	25	

Litteratur.

1. Bunzen, Beitrag zu einer künftigen Physiologie. Kopenhagen 1805. Ref. in Gilbert's *Ann. d. Phys.* Bd. XXV. S. 157.
2. Becquerel et Breschet, Premier memoire sur la chaleur animale. *Ann. des sciences naturelles.* II. 3. Zoologie. 1835. p. 257. — Second memoire etc. — Ibid. II. 4. p. 248. — Sur la chaleur animale — ibid. III. p. 257.
3. Helmholtz, H., Ueber die Wärmeentwicklung bei der Muskelaction. *Müller's Archiv.* 1848. S. 144.
4. Sur les phénomènes physiques de la contraction musculaire. (Extrait d'une Lettre de M. Matteucci à M. Depretz). *Compt. rend.* XLIII. p. 1058.
5. Beclard, De la contraction musculaire dans ses rapports avec la temperature animale. *Arch. gén. de médic.* 1861.
6. Solgers, Edw., De musculi calore, Vratislaviae, 1862, und Studien des physiol. Instit. zu Breslau. II, 125. Referat nach Heidenhain. S. Nr. 8 in dieser Aufzeichnung.
7. Meyerstein und Thiry, *Gött. Anz.* vom 28. Jan. 1863, und Henle und Pfeufer's *Zeitschrift.* XX. 45. Referat nach Heidenhain.
8. Heidenhain, R., *Mechanische Leistung, Wärmeentwicklung u. Stoffumsatz bei der Muskelthätigkeit.* Leipzig 1864.
9. Dupuy, Paul, De la contraction musculaire dans ses rapports avec la chaleur animale. *Gaz. méd. de Paris.* 1865. p. 626 und 646.
10. Westermann, H., Ein Beitrag zur Physik des Muskels. Dorpat 1868. *Diss.*
11. Valentin, G., Untersuchungen über Pfeilgifte, erste Abh. Wärme der Muskeln. Pflüger's *Arch.* Bd. I. 457.
12. Experimenteller Beitrag zur Lehre von der Erhaltung der Kraft bei der Muskelzusammenziehung. *Unters. aus dem physiol. Laborat. d. Züricher Hochschule.* Herausgeg. von A. Fick. Wien 1869. Nr. 1, und in *Myotherm. Untersuchungen aus den physiol. Laboratorien zu Zürich u. Würzburg* herausg. von A. Fick. Wiesbaden 1889. S. 35.
13. Heidenhain, R., Ueber Ad. Fick's experimentellen Beweis für die Gültigkeit des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft bei der Muskelzusammenziehung. Pflüger's *Archiv.* 1869. Bd. II. S. 423.
14. Fick, A., Die Wärmeentwicklung bei der Zusammensziehung des Muskels. Beiträge zur Anatomie und Physiologie als *Festgabe* für Carl Ludwig zum 15. October 1874 gewidmet von seinen Schülern, sammt *Myothermische Untersuchungen* S. 88.
15. Steiner, J., Ueber die Wärmeentwicklung bei der Wiederausdehnung des Muskels. Pflüger's *Archiv.* 1875. Bd. XI. S. 196.
16. Nawalichin, J., Myothermische Untersuchungen. Pflüger's *Archiv.* 1877. Bd. XIV. S. 298.
17. Fick, A., Ueber die Wärmeentwicklung bei der Muskelzuckung. Pflüger's *Archiv.* 1879. Bd. XVI. S. 58, und *Myotherm. Unters.* S. 102.

18. Danilewsky, B., Thermodynamische Untersuchungen am Muskel. Pflüger's *Archiv*. Bd. XXI. 1880. S. 129, und *Myotherm. Unters.* S. 132 (mit einer anderen Ueberschrift und einem Nachtrage unter dem Titel: Ergebnisse weiterer thermodynamischer Untersuchungen der Muskeln).
19. Meade-Smith, Die Temperatur des gereizten Säugethiermuskels. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* Physiol. Abth. 1881. S. 102.
20. Blix, Magnus, Till belysning af frågan: huruvida värme omsättes till mekaniskt arbete vid muskelkontraktioner. *Upsala Läkareförenings Förhandlingar*. 1881. Bd. XIV. 8; *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XXI. N. F. III. *Myotherm. Unters.* S. 175.
21. Fick, A., Myothermische Fragen und Versuche. *Verhandl. d. physik.-medic. Gesellsch. zu Würzburg*. N. F. 1884 Bd. XVIII.; *Myotherm. Unters.* S. 249.
22. Meade Smith, R., Die Wärme des erregten Säugethiermuskels. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* Physiol. Abth. 1884. S. 262.
23. Fick, A., Versuche über Wärmeentwicklung im Muskel bei verschiedenen Temperaturen. *Verhandl. der physik.-medic. Gesellschaft zu Würzburg*. N. F. 1885. Bd. XIX.
24. Mosso, Ugo, Influence du système nerveux sur la température animale. *Arch. ital. de biol.* VII. 2. p. 306.
25. Lukjanow, S. M., Wärmelieferung und Arbeitskraft des blutleeren Säugethiermuskels. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* Physiol. Abth. 1886. S. 117.
26. Starke, Paul, Arbeitsleistung und Wärmeentwicklung bei der verzögerten Muskelzuckung. *Abhandl. d. math.-physik. Classe d. Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss.* 1890. Bd. XVI. Nr. 1.
27. Chauveau, *Le travail muscul. et l'énergie qu'il représente*. Paris 1891.
28. Schenck, Fritz, Ueber den Einfluss der Spannung auf die Wärmebildung des Muskels. Pflüger's *Archiv*. 1892. Bd. LI. S. 509.
29. Fick, A., Neue Beiträge zur Kenntniss von der Wärmeentwicklung im Muskel. Pflüger's *Archiv*. 1892. Bd. LI. S. 541.
30. Schenck, Fritz, und Brandt, Gustav, Ueber Wärmebildung bei summirten Zuckungen. Pflüger's *Archiv*. 1893. Bd. LV. S. 143.
31. Metzner, Rudolf, Ueber das Verhältniss von Arbeitsleistung und Wärmebildung im Muskel. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* Physiol. Abth. 1893. Suppl. S. 74.
32. Fick, A., Abhängigkeit des Stoffumsatzes im tetanisirten Muskel von seiner Spannung. Pflüger's *Archiv*. 1894. Bd. LVII. S. 65.
33. Schenck, Fr., Ueber die Wärmeentwicklung des thätigen Muskels bei verschiedenen Temperaturen. Pflüger's *Archiv*. 1894. Bd. LVII. S. 572.
34. Greife, Hermann, Ueber den Einfluss der Reizstärke auf die Wärmeentwicklung im Tetanus. Pflüger's *Archiv*. 1895. S. 111.
35. Cremer, M., Ueber neurothermische Versuche am marklosen Nerven. *Sitzungsber. d. Gesellsch. f. Morphol. u. Physiol. in München*. 1896. Heft II.
36. Chauveau, A., Methode nouvelle pour s'assurer si, dans les milieux vivants comme dans le monde inanimé, le travail positif prend de l'énergie au moteur et si le travail négatif lui en donne. *Arch. de Physiol. normale et pathologique*. Avril 1897. T. IX. No. 2. p. 261.

Erklärung der Abbildungen.

(Tafel I—III.)

Tafel I.

- Fig. I. Differentialcalorimeter für Muskeln.
- „ II. Details des Inneren.
- „ III. Magnetinductorium (grosses).
- 1 Magnet.
 - 2 Inductionsrollen.
 - 3 Polstücke.
 - 4 Scheibe an der Axe des Federmysographa.
 - 5 Eisennägel in ihren Rand eingeschraubt.
- C* Equipage zur Aufstellung *C*, bestehend aus Spiegel und Bügel, dieser aus Kupfer und Constantan (schwarz gezeichnet).
- D* Equipage zur Aufstellung *D*, bestehend aus Spiegel und zusammengebogenem Kupferdraht, dessen Enden mit Constantan oder Wismuth verbunden sind und mit einem Stück Ebonit auseinander gehalten werden.
- E* Details der Aufstellung *E* zeigend.
- 4 Die Löthstelle.
 - 12 Die stützende Brücke.
 - 11 Isolirende Zwischenlage.
 - 7 Stäbe, mit welchen die Muskeln fixirt werden.
 - 9 Schraube, um diese Stäbe festzuhalten.
 - 10 Decke der Muskelkammer zugleich Boden des Galvanometers.
- F* Details der Aufstellung *F*, Façade und Seitenansicht.
- 1 Spiegel.
 - 2 Magnetsystem.
 - 3 Thermorollen.
 - 4 Thermoelemente.
 - 5 Stäbe zur Befestigung der
 - 6 Ebonitlamelle, an deren Rande die Muskeln reiten.
 - 7 Einrichtung, um die Symphyse zu befestigen.
 - 8 Bleche, durch welche die Reizströme zugeleitet werden.
 - 9 Zuleitungsklemmen.
 - 10 Ebonitplatte.

Tafel II.

- Fig. IV. Magnetinductorium (kleines).
- a* Kurbel.
 - b* Armatur oder Anker.
 - r* Inductionsrollen.
- G* Aufstellung *G*. Durchschnitt.
- 1 Spiegel
 - 2 Magnetsystem in seiner Röhre.
 - 3 Thermorollen.
 - 4 Element.

- 5 Pfeiler aus Messing.
- 6 Celluloidlamellen zwischen den Muskeln.
- 7 Einrichtung, die Symphyse festzuhalten.
- 8 Blech für die Leitung der Reizströme.
- 9 Klemmschrauben für dieselbe.
- 10 Obere Ebonitscheibe.
- 11 Bodenplatte.
- 12 Schraube zur Fixirung des Stabes 7.
- 13 Balken aus Ebonit.
- 14 Cylindrische Seitenwand aus Metall.

Tafel III.

Curve I bis IV. Photographische Aufzeichnungen der Galvanometerauschläge bei den S. 122 bis 124 protokollirten Versuchen.

Die Curve Fig. 8 ist von rechts zu lesen.

Analyse von Muskelcurven.¹

Von

K. Hällstén.²

Ein Muskel sei, in verticale Lage gestellt, am oberen Ende befestigt, das untere Ende sei frei, aber belastet. Bei Contraction des Muskels wird dann die Belastung oder — wie wir im Folgenden sagen — das bewegliche System in Bewegung gesetzt. Zuerst widmen wir der Bewegung des Systems unsere Aufmerksamkeit, um zu untersuchen, welche mechanischen Verhältnisse des Muskels damit im Zusammenhange stehen.

I. Die Bewegung des Systems.

Neben dem Muskel wirke nur die Schwere auf das System ein. Wir unterscheiden hier zwei Fälle: das bewegliche System ist 1. frei, nur am unteren Ende des Muskels befestigt, und 2. drehbar um eine horizontale Axe. Die Anordnung 1. ist die einfachere und lässt schon die Verhältnisse, die hier hervortreten, übersehen; wir behandeln daher diesen Fall zuerst. Die Anordnung 2 ist die bei empirischen Untersuchungen beinahe ausschliesslich verwendbare und angewandte; diesem Falle widmen wir daher in der Folge grössere Aufmerksamkeit.

1. Ein Gewicht wird vom Muskel gehoben.

1) Die Gleichung der Bewegung des Systems. Die Muskelkraft. Die Kräfte, die auf das System einwirken, sind das Gewicht desselben und die Muskelkraft; jenes wird gemessen vom Producte der Masse M des Systems und der Beschleunigung der Schwere g , also von Mg ; diese, die eine mit der Zeit t veränderliche Grösse ist,

¹ Der Redaction am 25. Mai 1901 zugegangen.

² Nach dem in *Act. Soc. Sc. Fenn.* 1897. Tom. XXIV. No. 1 und 1900. XXIX. No. 5 veröffentlichten schwedischen Originale frei referirt.

bezeichnen wir überall in der Folge mit Q . Diese Kräfte wirken in derselben Verticalen, aber nach entgegengesetzten Richtungen; wird daher die Muskelkraft, die nach oben wirkt und auch im Anfange der Muskelcontraction die grössere ist, positiv genommen, so ist die Resultante der beiden Kräfte

$$Q - Mg.$$

Wenn man weiter die Grösse der Verkürzung des Muskels in derselben Zeit t , z. B. vom Anfange der Muskelcontraction gerechnet, mit s bezeichnet, so bezeichnet s zugleich die Wegstrecke, um welche das System oder ein Punkt desselben, wir nehmen an, der Massenmittelpunkt, zur Zeit t erhoben ist. Die Geschwindigkeit und die Beschleunigung des Massenmittelpunktes sind dann bestimmt durch die Differentialquotienten nach der Zeit t :

$$\frac{ds}{dt} \quad \text{und} \quad \frac{d^2s}{dt^2}.$$

Damit kann die Kraft, die auf das System einwirkt, auch durch Md^2s/dt^2 ausgedrückt werden. Beide Ausdrücke für dieselbe Kraft geben daher die Gleichung:

$$(1) \quad M \frac{d^2s}{dt^2} = Q - Mg,$$

dies ist die Bewegungsgleichung des Systems.

Die vorige Gleichung giebt

$$(2) \quad Q = Mg + M \frac{d^2s}{dt^2},$$

wovon also die Grösse der Muskelkraft Q zur Zeit t bestimmt werden kann, wenn die Constante M des Systems und die Beschleunigung desselben d^2s/dt^2 im betreffenden Augenblicke t bekannt sind.

2) Die Verkürzung des Muskels, ihre Geschwindigkeit und Beschleunigung zur Zeit t . Mit s wurde soeben die Verkürzung des Muskels zur Zeit t bezeichnet, dann bezeichnete ds/dt die Geschwindigkeit, mit welcher ein Punkt des Systems sich bewegt, selbstverständlich unter der Voraussetzung, dass keine Schleuderung des Systems vorkommt; der Muskel und das System sind aber mit einander durch einen Draht vereinigt; jeder Punkt des Drahtes hat daher auch dieselbe Geschwindigkeit ds/dt , und ebenso das sehnige Ende oder das Beinstück, an welchem der Draht mittelst eines Hakens befestigt ist. Der Coefficient ds/dt bestimmt daher auch die Geschwindigkeit, mit welcher das untere, freie Ende des Muskels zur Zeit t gegen das obere, befestigte Ende des Muskels bewegt wird.

Ganz in derselben Weise bestimmt der Coefficient d^2s/dt^2 auch die Beschleunigung für die letztgenannte Bewegung.

3) Die mechanische Energie, die der Muskel während der Contraction dem Systeme bis zur Zeit t mitgetheilt hat, wird analytisch bestimmt, wenn die Gleichung (2) mit ds multiplicirt wird; diese Grösse bezeichnet nämlich die elementare Wegstrecke oder Verschiebung des Systems im nächsten Zeitelement dt in derselben Verticalen, in welcher die Kraft Q wirkt; das Product $Q \cdot ds$ im linken Gliede der Gleichung bezeichnet daher die elementare mechanische Energie dE , die der Muskel während der Zeit dt dem Systeme mitgetheilt hat. Die Gleichung der elementaren Energie dE zur Zeit t wird also

$$(3) \quad Q ds = dE = M g ds + M \frac{d^2 s}{dt^2} ds ,$$

wovon durch Integration zwischen den Grenzen s gleich Null und gleich s hervorgeht:

$$(3a) \quad \int_0^s Q ds = E = M g s + M \frac{v^2}{2} ; \quad \text{wo: } v = \frac{ds}{dt} ,$$

weil:

$$\frac{d^2 s}{dt^2} ds = \frac{d \left(\frac{ds}{dt} \right)}{dt} ds = dv \cdot v = d \left(\frac{v^2}{2} \right) .$$

Der Kürze wegen ist hier die Geschwindigkeit ds/dt mit v bezeichnet. Diese Gleichung (3a) drückt nur aus, dass die ganze mechanische Energie E (gerechnet vom Anfange der Contraction bis zur Zeit t , wenn die Verkürzung des Muskels den Werth s hat), die der Muskel dem Systeme mitgetheilt hat, aus zwei Theilen zusammengesetzt wird, nämlich von der Arbeit $M g s$ in Beziehung zur Anfangslage, und der Bewegung oder der lebendigen Kraft $M v^2/2$ zur Zeit t — eine Thatsache, die sozusagen selbstverständlich ist; diese beiden Summanden und damit die ganze Energie E können vermittelst dieser Gleichung (3a) berechnet werden, wenn die Verkürzung s und die Geschwindigkeit v nebst der Constante M des Systems bekannt sind.

4) Einige specielle Werthe der Muskelkraft und der Energie mögen hier noch berücksichtigt werden. In der Anfangslage, wenn der Muskel noch in Ruhe ist, ist die Verkürzung s gleich Null, also auch

$$\frac{d^2 s}{dt^2} = 0 ,$$

und daher nach Gleichung (2):

$$(4a) \quad Q = M g = Q_1 ,$$

wo also Q_1 den anfänglichen Werth der Muskelkraft bezeichnet, mit anderen Worten: die Kraft, mit welcher der Muskel das Gewicht Mg trägt, oder auch das Gewicht, das den Muskel spannt.

Denselben Werth Q_1 erhält die Muskelkraft wieder während der Contraction in einem bestimmten Augenblicke, dann nämlich, wenn in der Gleichung (2) der Coefficient d^2s/dt^2 gleich Null wird, also

$$(4b) \quad \frac{d^2s}{dt^2} = 0.$$

Zwischen diesen beiden Werthen Q_1 erhält die Muskelkraft einen maximalen Werth Q_m , weil sie — der Erfahrung gemäss — erst zu-, dann abnimmt. Als Bedingung dafür giebt Gleichung (2)

$$(4c) \quad \frac{dQ}{dt} = 0; \quad \text{oder:} \quad \frac{d^2s}{dt^2} = 0,$$

womit ausgedrückt wird, dass in diesem Augenblicke oder in dieser Lage des Systems der Coefficient d^2s/dt^2 einen maximalen Werth $(d^2s/dt^2)_m$ annimmt, weil auch der Coefficient d^2s/dt^2 erst zu-, dann abnimmt. Zur selben Zeit erhalten also Q und d^2s/dt^2 die maximalen Werthe Q_m und $(d^2s/dt^2)_m$.

Hört der Muskel auf, auf das System zu wirken, so giebt die Gleichung (2):

$$(4d) \quad Q = 0; \quad Mg + M \frac{d^2s}{dt^2} = 0; \quad \text{also:} \quad \frac{d^2s}{dt^2} = -g.$$

So lange dies dauert, wird die Energie E des Systems nicht verändert; nach Gleichung (3a) ist also:

$$(4e) \quad E = Mgs + M \frac{v^2}{2} = \text{Const.},$$

wenn nämlich die Versuche so ausgeführt werden können, dass kein Energieverlust in Folge von Hindernissen eintritt.

Diese Untersuchung zeigt, dass gewisse mechanische Verhältnisse, die in Beziehung zu der Muskelwirksamkeit stehen, vermittelt der in Rede stehenden Methode quantitativ für eine beliebige Zeit t bestimmt werden können, nämlich: die Muskelkraft, die Verkürzung des Muskels sammt ihrer (oben definirten) Geschwindigkeit und Beschleunigung, und die mechanische Energie, die der Muskel bis zur Zeit t dem System mitgetheilt hat. Zu diesem Zweck muss aber die Bewegung des Systems in Beziehung auf Lage, Geschwindigkeit und Beschleunigung bei derselben Zeit, und noch die Masse derselben bekannt sein. Die letztgenannten veränderlichen Grössen sind in jedem Falle von

der Muskelcurve herzuleiten, und in dieser Beziehung giebt es eine allgemeine Methode; die Lage s des Systems ist an der Curve für gleiche Zeitintervalle zu messen, und dann sind die Werthe von ds/dt und d^2s/dt^2 vermittelst numerischer Interpolation zu berechnen. Zur Ausführung solcher Messungen ist jedoch die in Rede stehende Anordnung der Versuche nicht recht anwendbar; das Gewicht, an welchem auch der Schreibarm zum Verzeichnen der Curve befestigt sein muss, wird nämlich bei den Versuchen in Bewegung gesetzt — nicht nur in der Richtung der Verticalen, sondern auch nach den Seiten hin, daher wird die Curve fehlerhaft. Hierzu kommt noch, dass bei dieser Anordnung leicht Schleuderung des Systems eintritt; in welchem Punkte der Curve dies geschieht, davon kann wohl die letzte, oben angeführte Gleichung (4e) Auskunft geben; so lange aber ein solcher Zustand währt, giebt die Curve keine Auskunft in Beziehung auf das Verhalten des Muskels. Die theoretische Untersuchung dieser Anordnung zeigt aber in einfachster Weise, was überhaupt die in Rede stehende Methode geeignet ist, kund zu geben, denn — wie schon hier erwähnt werden mag — die Resultate werden dieselben, auch wenn das bewegliche System um eine horizontale Axe gedreht wird; nur die Berechnungen werden verwickelter.

2. Das bewegliche System wird um eine horizontale Axe gedreht.

5) Anordnungen in Beziehung auf das bewegliche System und die Versuche. Bei dieser Anordnung wird das bewegliche System im Allgemeinen aus zwei Theilen zusammengesetzt, nämlich von einem Theil, der an der Drehungsaxe unbeweglich befestigt, und von einem Loth, das nur vermittelst eines Drahtes mit diesem vereinigt ist. Das Loth hat bekanntlich den Zweck, Schleuderung des Systems während der Muskelzuckung zu vermeiden; der Draht ist daher am Umfange einer kleinen Rolle befestigt, welche die Drehungsaxe des beweglichen Systems zur Axe hat und damit fest vereinigt ist. — Zuerst mag hier angenommen werden, dass das Loth fortgelassen ist.

Die unbeweglich mit der Axe vereinigten Theile des Systems sind so angeordnet, dass das Trägheitsmoment derselben in Beziehung zur Drehungsaxe in jeder Lage des Systems denselben Werth hat; das System ist weiter in zwei symmetrische Hälften in Beziehung zu einer (idealen) Ebene, die durch den Massenmittelpunkt desselben und die Drehungsaxe geht, getheilt; in dieser Ebene ist auch die Schreibspitze zum Vorzeichnen der Muskelcurve gestellt. Bei Ausführung der physiologischen Versuche wird die so definirte Ebene in horizontale Richtung

unter den Muskel gestellt, und bestimmt dann das, was wir in der Folge die Anfangs- oder Initiallage des Systems nennen, von welcher aus die Drehung in Folge der Muskelcontraction erfolgt. Jede andere Lage, die diese Ebene während der Verkürzung des Muskels einnimmt, nennen wir eine Secundärlage.

6) Die Bewegung des Systems. Für ein System, dass um eine Achse mit veränderlicher Winkelgeschwindigkeit ω gedreht wird, gilt der bekannte Satz:

$$(5) \quad \omega' = \frac{D}{T},$$

wo ω' die Winkelbeschleunigung und D die Summe der Drehungsmomente bei einer bestimmten, aber beliebigen Zeit t bezeichnet, und T das Trägheitsmoment ist; alle Momente sind hier in Beziehung zur Drehungsaxe zu nehmen. Die Lage des Systems zur Zeit t werde bestimmt mittelst des Winkels φ zwischen der oben definirten Ebene in einer Secundärlage und der durch die Drehungsaxe nach unten gezogenen Verticale; dann sind

$$(6) \quad \omega = \frac{d\varphi}{dt}; \quad \text{und} \quad \frac{d\omega}{dt} = \omega' = \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

Weiter ist die Summe der Drehungsmomente D zusammengesetzt von dem Momente der Muskelkraft Q und dem der Schwere; jenes kann mit Qq bezeichnet werden, wenn q der senkrechte Abstand der Muskelkraft von der Drehungsaxe bei der Lage φ oder zur Zeit t ist. Dieses kann durch $Mga \sin \varphi$ ausgedrückt werden, wo M als die im Systeme wirksame Masse, a als der Abstand des Massenmittelpunktes von der Drehungsaxe, und somit $a \sin \varphi$ als der Momentarm bei der Lage φ des Systems betrachtet werden kann.

Es mag hier bemerkt werden, dass M jedoch nicht die ganze Masse und Mg nicht das ganze Gewicht des Systems, sondern nur den Theil desselben, der im Producte Ma , bzw. Mga enthalten ist, bezeichnet. Das System erstreckt sich nämlich immer nach allen Richtungen von der idealen Drehungsaxe; daher entstehen Massen- oder Gewichtsmomente, die in entgegengesetzten Richtungen wirken, und somit theilweise einander aufheben. Die Grösse Ma bezieht sich also nur auf die nicht equilibrirten Drehungsmomente des Systems. Hieraus geht hervor, dass im Ausdrucke Ma die Grösse M mittelst der Waage nicht bestimmt werden kann; ebensowenig kann die Grösse a bestimmt werden; im Folgenden ist es auch nur das Product Ma , dessen Werth es hier nöthig ist zu kennen.

Die Grösse Ma oder Mga ist hier eine Constante und bezeichnet

das Massen-, bezw. das Gewichtsmoment des Systems, wenn der Winkel φ ein rechter oder gleich $\pi/2$ ist, was in der oben definirten Anfangslage des Systems eintritt.

Die beiden Drehungsmomente Qq und $Mga \sin \varphi$, die also die Summe D in der vorigen Gleichung (5) bilden, wirken in entgegengesetzten Richtungen; wird daher Qq , das nach oben wirkt, und auch im Anfange der Zuckung das grössere ist, positiv genommen, so wird die Gleichung der Bewegung:

$$(7) \quad \omega' = \frac{Qq - Mga \sin \varphi}{T}.$$

In dieser Gleichung tritt noch eine Veränderung ein, wenn das System auch das Loth, von welchem oben die Rede war, enthält. Wenn m die Masse des Lothes und r der Halbmesser der oben erwähnten kleinen Rolle ist, so ist mgr das Moment des Lothes in Folge der Schwere in Beziehung zur Drehungsaxe. Das Gewicht mg wird so gestellt, dass das Moment mgr nach unten wirkt und also negativ zu nehmen ist. Wenn T_0 noch das Trägheitsmoment des Lothes in Beziehung zur Drehungsaxe ist, so wird die Gleichung (7):

$$(8) \quad \omega' = \frac{Qq - Mga \sin \varphi - mgr}{T + T_0}.$$

Hier ist die Lage des Systems bestimmt mittelst des Winkels φ zwischen der oben definirten Ebene in einer Secundärlage und der nach unten durch die Drehungsaxe gehenden Verticalen. Für die folgenden Anwendungen ist es jedoch bequemer, die Lage des Systems mittelst des Winkels ψ , den dieselbe Ebene in einer Secundärlage mit deren Anfangslage macht, zu bestimmen; dann ist

$$\varphi = \frac{\pi}{2} + \psi, \quad \text{und also: } \sin \varphi = \cos \psi;$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{d\psi}{dt} = \omega; \quad \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{d^2\psi}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt} = \omega'.$$

Die Gleichung (8) der Bewegung des Systems wird hiermit:

$$(9) \quad \omega' = \frac{Qq - Mga \cos \psi - mgr}{T + T_0}.$$

Diese Gleichung umfasst zwei Anordnungen, die hier zu unterscheiden sind, nämlich: A. der Momentarm q der Muskelkraft hat denselben constanten Werth R in jeder Lage des Systems, und B. dieselbe Grösse q ist mit der Lage veränderlich. Bei der Anordnung A. gestalten sich die Verhältnisse viel einfacher; diese Anordnung ist auch die hier vorzugsweise angewandte und daher genauer zu untersuchen.

A. Der Momentarm der Muskelkraft ist constant.

7) Die Anordnung der Versuche, so dass der Momentarm der Muskelkraft in jeder Lage des Systems einen constanten Werth R hat, wird bekanntlich vermittelt einer Rolle vom Halbmesser R , die mit der Drehungsaxe vereinigt ist, erreicht; der Draht vom Muskel zum System wird hierbei um den Umfang der Rolle in etwas grösserer Länge als die grösste Verkürzung des Muskels geführt und hier befestigt. Die Lage des Muskels und die der Rolle einander gegenüber müssen so geordnet sein, dass der Draht und der Muskel bei Veränderung der Lage des Systems in Folge der Muskelzuckung in derselben Verticale verbleiben.

8) Die Gleichung der Bewegung des Systems. Die Muskelkraft R statt q in die Gleichung (9) eingeführt, giebt

$$(10) \quad \omega' = \frac{QR - Mga \cos \psi - mgr}{T + T_0},$$

wovon die Muskelkraft Q unter der Form

$$(11) \quad Q = \frac{Mga \cos \psi + mgr + (T + T_0)\omega'}{R}$$

bestimmt wird.

9) Die Verkürzung des Muskels. Während der Verkürzung des Muskels verbleiben bei dieser Anordnung der Muskel und der Draht, der das System mit diesem vereinigt, in derselben Verticale, das System aber wird um den Winkel ψ von der Anfangslage gedreht, und in Folge dessen ein Stück des Drahtes vom Umfange der Rolle los gemacht; dieses Stück hat den Werth $R\psi$, und bestimmt zugleich die Grösse der Verkürzung s des Muskels, weil der Draht und der Muskel in jeder Lage gespannt sind. Hier ist also:

$$(12) \quad s = R\psi; \text{ und daher: } ds = R d\psi; \quad \frac{ds}{dt} = R\omega; \quad \frac{d^2s}{dt^2} = R\omega'.$$

In derselben Weise wie bei der vorigen Anordnung 1 bestimmt hier der Coefficient ds/dt oder sein Werth $R\omega$ die Geschwindigkeit eines Punktes des Drahtes in verticaler Richtung und zugleich auch die Geschwindigkeit, mit welcher das untere, sehnige Ende des Muskels gegen das obere, befestigte bewegt wird. Ebenso ist d^2s/dt^2 oder $R\omega'$ die Beschleunigung dieser Bewegung.

10) Die vom Muskel dem Systeme mitgetheilte Energie. Wird die Gleichung (11) mit der elementaren Verkürzung ds des Muskels während der unendlich kleinen Zeit dt multiplicirt, so bezeichnet wieder (wie oben in 3) das Glied links Qds die während

derselben Zeit dem Systeme mitgetheilte elementare mechanische Energie dE , weil auch hier ds als die Wegstrecke in der Richtung der Kraft Q während der Zeit dt betrachtet werden kann. Wird noch im rechten Gliede ds nach Gleichung (12) von $R d\psi$ ersetzt, so nimmt die Gleichung folgende Form an:

$$(13) \quad Q ds = dE = Mga \cos \psi \cdot d\psi + mgr \cdot d\psi + (T + T_0) \omega' \cdot d\psi.$$

Eine Integration zwischen den Grenzen ψ gleich Null und gleich ψ giebt hiermit die ganze Energie, die dem Systeme während der Zeit t oder bis zur Lage ψ mitgetheilt ist, nämlich:

$$(13a) \quad \int_0^\psi Q ds = E = Mga \sin \psi + mgr \psi + \left(T + T_0\right) \frac{\omega^2}{2},$$

weil

$$\omega' d\psi = \frac{d\omega d\psi}{dt} = \omega d\omega = d\left(\frac{\omega^2}{2}\right).$$

Hier bezeichnet $a \sin \psi$ die Höhe, bis zu welcher das Gewicht Mg während der Zeit t gehoben ist, also $Mga \sin \psi$ die geleistete Arbeit; $r\psi$ wieder bezeichnet das Stück des Drahtes, an welchem das Loth hängt, das während derselben Zeit auf die kleine Rolle mit dem Halbmesser r aufgewickelt worden ist und zugleich die Höhe, um welche das Loth gehoben ist, also $mgr\psi$ die hiermit verbundene Arbeit; schliesslich ist

$$\left(T + T_0\right) \frac{\omega^2}{2}$$

die Grösse der Bewegung zu der betreffenden Zeit t . Das rechte Glied bestimmt also die ganze von der Muskelkraft ausgeführten Arbeit, wenn auch hier vorausgesetzt wird, dass keine Hindernisse der Bewegung widerstehen.

11) Specielle Werthe der Muskelkraft und der Energie. In der Anfangslage ist

$$\psi = 0; \text{ also auch: } \omega = \omega' = 0,$$

also die Muskelkraft Q_1 in dieser Lage:

$$(14a) \quad Q_1 = \frac{Mga + mgr}{R}.$$

Während der Contraction nimmt die Muskelkraft erst zu, dann ab — nach dem Schwann'schen Gesetze — bis Null. Zu irgend einer Zeit muss also die Muskelkraft den Anfangswerth Q_1 wieder erhalten; in dieser Lage ist daher:

$$Q = Q_1; \text{ oder: } \frac{Mga \cos \psi + mgr + (T + T_0) \omega'}{R} = \frac{Mga + mgr}{R},$$

d. h.:

$$(14b) \quad Mga(1 - \cos \psi) = (T + T_0)\omega'.$$

In dem Intervalle zwischen den beiden Werthen Q_1 muss Q einen maximalen Werth Q_m annehmen; in dieser Lage ist

$$(14c) \quad Q = Q_m; \quad \frac{dQ}{dt} = 0; \quad -Mga \sin \psi \cdot \omega + (T + T_0) \frac{d\omega'}{dt} = 0.$$

Wenn Q gleich Null wird, so ist nach der Gleichung (11):

$$(14d) \quad Q = 0; \quad Mga \cos \psi + mgr + (T + T_0)\omega' = 0.$$

Tritt eine Schleuderung des Systems ein, so wirkt der Muskel nicht mehr auf das System, und die Energie E bleibt unverändert, sofern nämlich keine Hindernisse der Bewegung des Systems widerstehen. Vermittelst der Gleichung:

$$(14e) \quad E = Mga \sin \psi + mgr\psi + (T + T_0) \frac{\omega^2}{2} = \text{Const.}$$

kann also untersucht werden, wann eine Schleuderung des Systems eingetreten ist.

12) Zwei Specialfälle. Diese Anordnung mit constantem Momentarme umfasst noch zwei Specialfälle, die hier näher zu berücksichtigen wären, nämlich: Aa) wenn das Loth mg ganz fortgelassen wird, und Ab) wenn die Belastung des Muskels nur vom Lothe herrührt.

Der Fall Aa), wenn das Loth ganz fortgelassen wird und also m und T_0 gleich Null sind, und die Belastung des Muskels nur vom Momente $Mga \sin \psi$ herrührt, ist in diesem Archiv schon von Dr. A. Clopatt¹ behandelt; hier gehen wir daher auf diese Frage nicht ein.

Im Falle Ab), wenn die Belastung des Muskels nur vom Lothe herrührt, ist

$$a = 0; \quad \text{und:} \quad Mga = 0,$$

und das von den mit der Drehungsaxe fest vereinigten Theilen gebildete System ist in jeder Lage im Gleichgewicht. Nach den Gleichungen (11) und (13a) wird dann

$$(15a) \quad Q = \frac{mgr + (T + T_0)\omega'}{R} \quad \text{und:} \quad E = mgr\psi + (T + T_0) \frac{\omega^2}{2}.$$

In der Anfangslage ist die Muskelkraft Q_1

$$(15b) \quad Q_1 = \frac{mgr}{R}.$$

¹ A. Clopatt, Zur Kenntniss des Einflusses der Temperatur auf die Muskelzuckung. *Dies Archiv*. 1899. Bd. X. S. 249 bis 334.

Denselben Werth Q_1 erhält die Muskelkraft während der Contraction, wenn ω' gleich Null wird, d. h. wenn die Winkelgeschwindigkeit ω ihren maximalen Werth ω_m annimmt.

Zwischen den beiden letztgenannten Werthen erhält Q den maximalen Werth Q_m , wenn

$$(15c) \quad \frac{d\omega'}{dt} = 0,$$

was hier angiebt, dass Q und ω' zur selben Zeit die maximalen Werthe Q_m und ω'_m erhalten.

Wenn schliesslich Q gleich Null wird, so ist:

$$(15d) \quad Q = 0; \quad mgr + (T + T_0)\omega' = 0; \quad \text{oder} \quad \omega' = -\frac{mgr}{T + T_0}.$$

Die beiden Anordnungen Aa) und Ab) sind in Beziehung auf die Ausführung der Versuche und der Berechnungen die einfachsten, die hier vorkommen können; doch ist jene nicht so allgemein anzuwenden, wie diese, mit Hinsicht nämlich auf mögliche Schleuderung des Systems.

B. Der Momentarm der Muskelkraft ist veränderlich.

Bei dieser Anordnung der Versuche ist, wie die theoretische Untersuchung zeigt, die Muskelkraft Q abhängig nicht nur von den Constanten des Systems, dem Drehungswinkel ψ und den Coefficienten ω und ω' , sondern auch von der Länge des Muskels in der Anfangslage zusammen mit der Länge des Drahtes, der den Muskel mit dem Systeme vereinigt. Diese Länge ist gewiss nicht leicht genau zu bestimmen; dazu kommt, dass die Berechnungen viel verwickelter als bei der vorigen Anordnung A. werden. Für die theoretische Behandlung der Frage weisen wir daher auf die Originalabhandlung von 1897, S. 24 bis 27 hin, umsomehr, da wir im Folgenden nur die Anordnung A. zu verwenden beabsichtigen.

Die Untersuchung zeigt also, dass bei den Anordnungen 1. und 2.A. des beweglichen Systems gewisse mechanische Verhältnisse des Muskels während der Muskelcontraction in so innigem Zusammenhange mit der Bewegung des Systems stehen, dass, wenn diese für eine bestimmte Zeit bekannt ist, auch jene für dieselbe Zeit berechnet werden können. Um die hier oben in solcher Beziehung aufgestellten Gleichungen (11), (12) und (13a) anzuwenden, sind auch bei der Anordnung 2.A. die veränderlichen Grössen, nämlich ψ , ω und ω' , von der Muskelcurve in derselben Weise wie bei der Anordnung 1. herzuleiten; zuerst ist daher

die Lage des Systems, also hier der Drehungswinkel ψ , für gleiche Zeitintervalle zu messen; dann sind die Coëfficienten ω und ω' vermittelst numerischer Interpolation zu berechnen.

Die Bezeichnung „Analyse von Muskelcurven“ entspricht also nicht genau den hier vorliegenden Aufgaben, denn die Curvenanalyse lehrt nur die Lage des Systems und ihre Coëfficienten nach der Zeit kennen; wir haben jedoch diese Benennung für die vorliegende Untersuchung gebraucht, weil hier eben die Curvenanalyse — in Beziehung auf die Apparate und die Ausführung der physiologischen Versuche, der Messungen und auch der Berechnungen — das Wesentliche ist. —

II. Der Plan für die Ausführung der Untersuchung.

Vermittelst der Anordnung 2. in der vorigen Abtheilung, also vermittelst eines um eine horizontale Axe drehbaren Systems, sei eine Muskelcurve zu verzeichnen, um analysirt zu werden; als erste Aufgabe gilt es dann zu entscheiden, nach welchen Methoden die Curve zu zeichnen und die Messungen auszuführen sind, um genaue Resultate in Beziehung auf die Werthe für den Drehungswinkel ψ des beweglichen Systems und für die demselben entsprechende Zeit t zu erhalten.

1. Tangentialschrift. Ebene Schreibfläche. Von den beiden Methoden, die zum Verzeichnen der Muskelcurven angewandt sind, — die sog. Front- und Tangentialschrift —, ist der erstgenannten bei genaueren Untersuchungen, z. B. bei Versuchen, Muskelcurven zu analysiren, entschieden der Vorzug gegeben; diese Methode ist aber mit einigen Ungelegenheiten verknüpft, die nicht nöthig sind, hier näher auseinander zu setzen. Weil daher eine Untersuchung in Beziehung auf die Tangentialschrift — von welcher das hier Nöthige unten dargestellt ist — gezeigt hat, dass hiermit genaue Resultate zu erreichen sind, so haben wir nur diese Methode zum Verzeichnen der Curven angewandt. Hier ist sofort hervorzuheben, dass dies — wie schon lange bekannt ist — mit cylindrischer Schreibfläche nicht zu erreichen ist; die Schreibfläche muss eben sein. Dazu muss in dem angewandten Myographion oder in dem beweglichen Systeme desselben der Abstand der Schreibspitze von der Drehungsaxe oder, wie wir kurz im Folgenden sagen, der Schreibarm ρ in jeder Lage des beweglichen Systems unverändert denselben Werth haben. Oben (in I. 5.) ist vorausgesetzt, dass auch das Trägheitsmoment des beweglichen Systems in Beziehung zur Drehungsaxe in jeder Lage constant ist, weil sonst die Grössen Q

und E nicht berechnet werden können. Nach diesen Principien waren also die hier gebrauchte Schreibfläche und das Myographion nebst dem beweglichen System einzurichten.

2. Die Bestimmung des Drehungswinkels und der Zeit. Weil der Muskel — sowie vorausgesetzt wurde — in verticaler Richtung befestigt ist, muss auch die Schreibfläche vertical gestellt sein; ihre Bewegung sei eine progressive, in horizontaler Richtung mit der constanten Geschwindigkeit c . Das Verhalten der Muskelcurve unter diesen Voraussetzungen zeigt die Fig. 1, wo die Bewegung der Schreibfläche von rechts nach links — wie der Pfeil andeutet — gedacht ist. Die Linie $t_0 p$ bezeichnet die in der Anfangslage des Systems und des Muskels bei Bewegung der Schreibfläche gezeichnete Horizontallinie; auf dieser Linie ist t_0 die Lage der Schreibspitze in dem Augenblicke, wo die Reizung geschieht, und t_1 die Lage derselben, wenn die Zuckung



anfährt; die punktirte Curve ist ein Stück der Muskelcurve und xy ein Punkt derselben, in welchem die Schreibspitze zur Zeit t , gerechnet z. B. vom Augenblicke t_0 der Reizung, sich befindet. Weil die Schrift tangential ist, so ist die Drehungsaxe des beweglichen Systems senkrecht gegen die Schreibfläche und schneidet (zur Zeit t) diese Fläche in einem Punkte der Linie $t_0 p$, wir nehmen an im Punkte $x_e y_e$. Der (oben definirte) Schreibarm ρ liegt also in der Schreibfläche, und der Winkel zwischen dem Schreibarme in der Secundärlage ρ' und der Horizontallinie $t_0 p$ ist der Drehungswinkel ψ des Systems zur Zeit t .

Die Lage des Curvenpunktes xy zur Zeit t im Verhältniss zu der Horizontallinie $t_0 p$ und dem Punkte t_0 auf derselben ist nun bestimmt mittelst eines Polarcoordinationsystems, welches gewiss von wenig gewöhnlicher Beschaffenheit, aber vollständig genau ist, nämlich von einem Kreisbogen und einer geraden Linie; der Kreisbogen ist der Theil des Kreises mit $x_e y_e$ als Mittelpunkt und ρ als Halbmesser, der zwischen dem Punkte xy und der Horizontallinie im Punkte p liegt; die gerade Linie ist das Stück $t_0 p$ der Horizontallinie zwischen den Punkten t_0 und p . Von diesen Polarcoordinaten misst der Bogen den Winkel ψ , und ist gleich $\rho \psi$; die Linie $t_0 p$ wieder misst die Wegstrecke, um welche die Schreibfläche während der Zeit t in horizontaler Richtung

mit der Geschwindigkeit c verschoben ist [oder, was dasselbe ist, um welche der Punkt x, y , und die Drehungsaxe des Systems während derselben Zeit t vom Punkte t_0 verschoben sind; die Schreibspitze muss also auf dem (soeben definirten) Kreise liegen]; die Linie $t_0 p$ hat also den Werth ct . Der Bogen $\rho\psi$ und die Linie $t_0 p$ oder ct bestimmen daher vollständig die Lage des Curvenpunktes xy zur Zeit t .

Die Messungen für die Bestimmung von ψ und t können hier in folgender Weise bewerkstelligt werden. Die Horizontallinie unter der Muskelcurve wird in eine grössere Anzahl gleich grosser Theile getheilt (das könnte z. B. mittelst einer Stimmgabel geschehen); jeder Theilstrich giebt also eine bestimmte Zeit (gerechnet z. B. von t_0) an; der einem bestimmten Theilstrich entsprechende Drehungswinkel ψ kann dann an einer Kreisscala unmittelbar abgelesen werden; zu diesem Zwecke ist die Kreisscala mit zwei geraden Schenkeln ρ_1 und ρ_2 versehen, die vom Mittelpunkte der Scala ausgehen und dieselbe Länge ρ wie der Schreibarm haben; der eine Schenkel ρ_1 ist mit der Scala im Nullpunkte fest vereinigt, der andere Schenkel ρ_2 wieder kann um den Mittelpunkt der Scala gedreht und sein Winkel mit ρ_1 in jeder Lage an der Scala abgelesen werden. Um mit diesem Apparate den Winkel ψ zu messen, wird der mit der Scala unbeweglich vereinigte Schenkel ρ_1 längs der Horizontallinie $t_0 p$, mit seinem freien Ende (links in der Figur) auf den bestimmten Theilstrich gestellt, sodann wird der bewegliche Schenkel ρ_2 gedreht, bis das freie Ende desselben auf der Muskelcurve liegt; in dieser Lage hat der Schenkel ρ_2 dieselbe Lage in Beziehung zur Muskelcurve, wie der Schreibarm ρ zur Zeit t hatte, und der Winkel ψ , der dem betreffenden Theilstrich entspricht, ist an der Scala abzulesen. Das Princip für diese Messung des Winkels ψ ist also folgendes: dem beweglichen Schenkel ρ_2 wird für jeden Curvenpunkt (ψ, t), für welchen die Messung auszuführen ist, dieselbe Lage zur Muskelcurve gegeben, wie der Schreibarm ρ zur Zeit t , beim Verzeichnen desselben Curvenpunktes, hatte. Dies ist auch das Princip, nach welchem die Messungen im Folgenden ausgeführt sind.

Theoretisch betrachtet scheint dies Verfahren, die Messungen auszuführen, sehr einfach zu sein, und Apparate sind auch construirt, um eine ebene Schreibfläche mit constanter Geschwindigkeit zu verschieben. Um jedoch die hier nöthige Genauigkeit der Bewegung der Schreibfläche und der Abmessungen mit grösserer Sicherheit zu erzielen, haben wir die verschobene Schreibfläche durch eine mit constanter Winkelgeschwindigkeit (um eine gegen die Fläche senkrechte Axe) rotirende ersetzt. Dass die Grössen ψ und t auch unter solchen Verhältnissen in

ist jedoch am Umfange der Schreibfläche, mit dem Punkte O als Mittelpunkt, eine Kreisscala mit dazu gehörigem Nonius anzubringen; dann kann für einen beliebigen Winkel α der entsprechende Winkel ψ mit dem betreffenden Winkelmesser abgelesen werden.

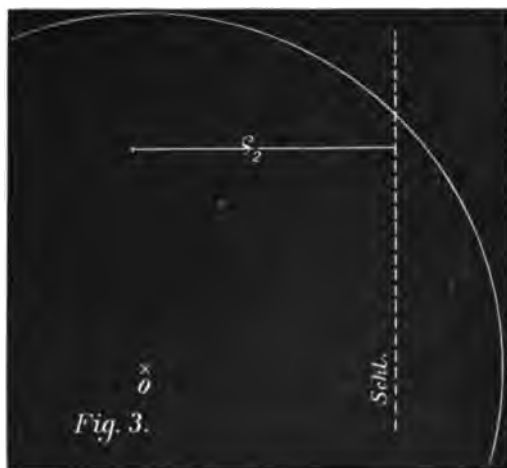
3. Der Plan für die Ausführung der Versuche und der Messungen ist somit folgender geworden:

a) Die Schreibfläche (eine ebene, kreisförmige Glasscheibe) wird in verticaler Richtung aufgestellt, und kann im gewünschten Augenblicke in Rotation mit constanter Winkelgeschwindigkeit um eine horizontale Axe versetzt werden; während der Drehung derselben wird ein Contact eines elektrischen Stromes geöffnet, um den Muskel zu reizen. Das Myographion, mit dem beweglichen Systeme (nach den oben angegebenen Principien eingerichtet) in die Anfangslage gestellt, wird der Schreibfläche genähert und verschoben, bis der (oben definirte) Schreibarm ρ in der Schreibfläche liegt und die Schreibspitze (eine Stahlnadel) den oberen verticalen Halbmesser der Scheibe in einem Punkte berührt. Nach dieser Anordnung wird die Schreibfläche in Rotation versetzt und die Muskelcurve gezeichnet. Sodann wird noch der Augenblick t_0 der Reizung in gewöhnlicher Weise auf der Scheibe angedeutet.

b) Das Myographion wird entfernt, und die Schreibfläche in die ursprüngliche Lage, mit demselben Halbmesser nach oben in der Verticalen, gestellt. Vermittelt eines Pfeil'schen Signalapparates, dessen Schreibspitze die Schreibfläche in einem Punkte des genannten Halbmessers berührt, wird dann eine Zeitcurve gezeichnet. Schliesslich folgen

c) Die Messungen von den Winkeln ψ und α vermittelt zwei Kreisscalen, die in einem hierfür eingerichteten Apparate vereinigt sind. Zu diesem Zwecke wird die Glasscheibe auf dem Apparate in horizontaler Lage befestigt, kann aber hier nebst der Unterlage um dieselbe Axe, um welche sie beim Verzeichnen der Muskelcurve rotirte, gedreht und in jeder Lage befestigt werden; weiter kann die Grösse des Drehungswinkels vermittelt einer Kreisscala mit Nonius am Umfange der Glasscheibe gemessen werden; an dieser Scala wird — wie schon angedeutet ist — der Winkel α gemessen. In Uebereinstimmung mit den geometrischen Eigenschaften der betreffenden Muskelcurve, von welchen oben die Rede war, werden die Messungen vermittelt eines Messarmes ρ_2 , von der Länge ρ des Schreibarmes, bewerkstelligt. Dieser Arm ρ_2 ist mit dem rechts in Figg. 2 oder 3 gelegenen Ende an einem Schlitten (*Schl.* in der Figur) vereinigt, aber so, dass derselbe in der Ebene der Schreibfläche sowohl verschoben als gedreht werden kann.

[Hier mag bemerkt werden, dass in der Wirklichkeit der Schlitten und der Messarm nicht in der Ebene der Schreibfläche liegen können, sondern dass sie in damit parallelen Ebenen gelegen sind; der Schlitten *Schl.* und der Messarm ρ_2 in der Figur können aber als die Projectionen des wirklichen Schlittens bezw. des Armes — beide als gerade Linien gedacht — auf der Ebene der Schreibfläche betrachtet werden.] Diese beiden Bewegungen können auf Scalen gemessen werden; die Scala für die Messung der Drehung dient — wie unten bald ersichtlich sein wird — zur Bestimmung der Grösse des Drehungswinkels ψ , und die Scala für die Messung der Verschiebung zur Be-



stimmung der Länge des Halbmessers S_0 des Anfangskreises der Muskelcurve.

Um mit Hülfe dieser Vorrichtung die Messungen bewerkstelligen zu können, ist der Arm ρ_2 zuerst in die Anfangslage des Schreibarms ρ zu bringen; zu diesem Zwecke wird dieser Arm senkrecht gegen den Schlitten befestigt, so dass keine Drehung stattfinden kann, und in dieser Lage längs dem Schlitten verschoben, bis das freie Ende desselben (links in Fig. 3) auf dem Anfangskreise der Muskelcurve liegt, und bis also der Arm ρ_2 eine Tangente dieses Kreises und in der Anfangslage des Schreibarmes ρ ist. Nun wird die Schreibfläche gedreht, bis der Punkt t_0 am freien Ende des Armes ρ_2 liegt; in dieser Lage — die Anfangslage des Schreibarmes ρ zur Zeit t_0 — ist der Arm zu befestigen, so dass auch keine Verschiebung desselben mehr stattfinden kann, und die Lage des Punktes t_0 , von welchem aus der Winkel α zu rechnen ist, wird auf der Kreisscala am Umfange der Schreibscheibe

bestimmt; in dieser Lage kann auch die Länge des Halbmessers S_0 des Anfangskreises an einer Scala, die am Schlitten befestigt ist, abgelesen werden. — Wird nun die Schreibfläche gedreht, so dass der Punkt t_1 des Anfangskreises, wo die Muskelcurve anfängt, also sich vom Anfangskreise erhebt, am freien Ende des Armes befindet, so kann der Winkel α_0 , von welchem das latente Reizungsstadium t_0 zu berechnen ist, abgelesen werden. — Um schliesslich den Drehungswinkel ψ für einen beliebigen Winkel α unter der Muskelcurve zu messen, wird die Schreibfläche gedreht, so dass der Winkel α an der Kreisscala am Umfange der Schreibscheibe abgelesen werden kann; dann ist das Hinderniss der Drehung des Messarmes ρ_2 (vermittelt einer Schraube) aufzuheben, das freie Ende des Armes auf der Muskelcurve einzustellen, und nachdem der Arm wieder befestigt worden ist, geschieht die Ablesung des Drehungswinkels ψ auf einer an der Drehungsaxe des Armes befestigten Kreisscala.

Hier sei noch bemerkt, dass für genaue Einstellung auf einem Curvenpunkte das freie Ende des Armes mit einem Mikroskop, in dessen Oculare ein Haarkreuz sich befindet, zu versehen ist; der betreffende Curvenpunkt ist dann im Kreuzungspunkte einzustellen, wenn nämlich der Abstand des letztgenannten Punktes von der Drehungsaxe des Armes gleich der Länge ρ des Schreibarmes gemacht ist. — Um den Drehungswinkel ψ , für den die Einstellung sehr genau geschehen kann, auch genau ablesen zu können, sind kleine Winkel — kleiner z. B. als 5 Winkelminuten — auf einem Ocularmikrometer abzulesen.

Durch Drehung des Haarkreuzes im Ocular des Mikroskopes kann auch der Winkel θ zwischen dem Schreibarm in einer Secundärlage und dem nächsten Element der Muskelcurve abgelesen werden; die Einstellung für die Ablesung dieses Winkels kann jedoch nicht so genau geschehen, wie für die Ablesung der oben genannten Grössen α , ψ und S_0 .

Zusatz. Um noch zu berücksichtigen, wie die Untersuchung bei der Anordnung I. 1. — d. h. wenn jeder Punkt des Systems während der Muskelzuckung längs einer Verticalen verschoben wird — bewerkstelligt werden kann, sei hier bemerkt, dass diese Anordnung als ein specieller Fall eines drehbaren Systems — also der Anordnung I. 2. — betrachtet werden kann; wird nämlich in der Anfangslage eines drehbaren Systems der Drehungspunkt x, y (in Figg. 1 oder 2) längs dem Schreibarme in immer grösserem Abstände von der Schreibspitze verschoben gedacht, so tritt die Anordnung I. 1. ein, als dieser Punkt in unendlichem Abstände sich befindet. In dieser Lage ist der oben definirte Schreibarm ρ eine unendlich lange Linie, die während der Muskelzuckung sich selbst parallel verschoben wird.

es nicht, die Untersuchung auf ein grösseres Gebiet auszudehnen. Ich glaube indess, dass auch die bis jetzt erzielten Resultate ein gewisses Interesse beanspruchen dürften, weshalb ich dieselben hier kurz mittheilen werde.

Zur Ausführung der betreffenden Untersuchung stand mir ein von Herrn Professor J. E. Johansson gebauter Arbeitsapparat zur Verfügung. Da derselbe in diesem Archiv (Bd. XI. S. 273) schon beschrieben ist, kann ich mich hier darauf beschränken, den allgemeinen Gang der Versuche zu beschreiben.

Unter Anwendung der beiden oberen Gliedmaassen wird bei jeder Contraction eine Arbeit derselben Grösse ausgeführt, indem das belastende Gewicht in regelmässigen Intervallen (jede 3. Secunde) um eine und dieselbe Hubhöhe gehoben und gesenkt wurde (automatische Hebung und Senkung der Belastung kam nicht vor; vgl. die Abhandlung von Prof. Johansson). Die Arbeit wurde ununterbrochen fortgesetzt, bis es der Versuchsperson nicht mehr möglich war, das Gewicht um die bestimmte Höhe zu heben. Dieser Augenblick wurde als Zeichen der eingetretenen Ermüdung aufgefasst.

Darauf wurde abgewartet, bis sich die Muskeln wieder in einem genügenden Grade erholt hatten — nach einigen darauf gerichteten, indess nicht besonders zahlreichen Versuchen wurde diese Zeit auf 40' bemessen — und dann eine zweite, bzw. dritte Ermüdungsreihe durchgeführt. Die Versuche fanden Vormittags etwa zu derselben Stunde statt.

Es stellte sich bald heraus, dass, trotz der beabsichtigten gleichen Hubhöhe bei allen Contractionen, dennoch eine graphische Aufzeichnung derselben vortheilhaft war, weshalb der Apparat mit einem Schreibhebel versehen wurde, welcher die Contractionen in verkleinertem Maassstabe registrirte.

Bei den meisten Versuchen diente ich selber als Versuchsperson. Um jedoch zu prüfen, ob die an mir gewonnenen Resultate etwa als allgemeingültig aufzufassen waren, habe ich einige Versuche auch an zwei anderen Individuen ausgeführt, nämlich an Herrn Dr. V. O. Siven aus Helsingfors, welchem ich für seine Gefälligkeit grossen Dank schulde, und an einem 17jährigen Manne, der zur Zeit als Heizer am Carolinischen Institut angestellt war.

Bevor ich zur Darstellung meiner Ergebnisse übergehe, muss ich die Frage erörtern, ob das von mir benutzte Kriterium der Ermüdung — die Unfähigkeit, das Gewicht zu der bestimmten Höhe aufzuheben — wirklich dem gestellten Zweck entspricht. Eine vollständige Erschöpfung war zu dieser Zeit natürlich nicht erreicht, und es handelt sich also

nur darum, ob die Ermüdung am Ende jeder Reihe überhaupt so weit fortgeschritten war, dass die Versuchsperson es nicht mehr vermochte, die gleiche Arbeit noch weiter fortzusetzen.

Das subjective Gefühl der Ermüdung kann natürlich in dieser Hinsicht nicht als maassgebend erachtet werden, sondern es gilt, wenn möglich, objective Merkmale finden zu können. Gerade zu diesem Zwecke habe ich die Contractionen graphisch registriert, was sonst für die Bestimmung der geleisteten Arbeit gar nicht nöthig gewesen wäre.

Diese Arbeitscurve hat im Beginn ein ganz gleichförmiges Aussehen. Die Hebungen und Senkungen werden vollkommen egal ausgeführt, die Dauer der Contraction und der Pause ist überall die gleiche. Während dieses Abschnittes der Ermüdungsreihe arbeitet die Versuchsperson also ganz gleichmässig, und zwar subjectiv ohne jede Anstrengung.

Mit dem Fortschreiten der Arbeit erscheinen aber von Zeit zu Zeit nach dem Herablassen des Gewichtes am Fusspunkte der Curve kleine Zacken, welche dadurch bedingt sind, dass das Gewicht nicht, wie bei den früheren Contractionen, beim Heruntergehen vollständig von den Muskeln getragen wird, sondern unter dem Einflusse der Schwere eine gewisse Beschleunigung annimmt.

Dieser „Doppelschlag“ erscheint im weiteren Verlaufe der Reihe immer öfter; auch die Contractionscurven verändern sich nicht unbedeutend. Die Dauer der Contraction nimmt ab und die Pausen zwischen den einzelnen Contractionen werden immer länger, um den ermüdenden Muskeln eine längere Ruhe zu gestatten. Der frühere Rhythmus wird aber noch eingehalten, nur einzelne Contractionen kommen etwas zu früh oder etwas zu spät. Die Versuchsperson hat zu dieser Zeit ein ausgeprägtes Gefühl von Ermüdung und bekämpft dasselbe absichtlich. Dieses Gefühl nimmt immer mehr zu, und zwar stellt es sich bei einer und derselben Arbeitsleistung ziemlich um dieselbe Zeit, vom Beginn des Versuches an gerechnet, ein; bei fortschreitender Uebung wird die Dauer bis zum subjectiven Eintritt dieses Gefühls immer länger.

Die Arbeit während dieses Abschnittes wäre also etwa als erschwerte Arbeit zu bezeichnen.

Nach und nach werden nun die Contractionen immer mehr unregelmässig: die Dauer der Contractionen, sowie die der Pausen verlängern sich alle beide, und nach einigen Contractionen ist es der Versuchsperson nicht mehr möglich, die volle Contraction auszuführen (vgl. Taf. IV Fig. 1; in derselben stellt die Abth. A den Beginn, die

Abth. *B* das Ende eines Versuches dar; von rechts nach links zu lesen). Die Arbeit während dieses Abschnittes bezeichne ich als angestrengte Arbeit.

Es ist natürlich, dass diese drei Abschnitte der subjectiv leichten, der erschwerten und der angestrengten Arbeit nicht ganz scharf von einander getrennt werden können; sowohl subjectiv als objectiv, aus der Contractionscurve, lassen sie sich jedoch im grossen Ganzen gut unterscheiden. Indess kann es der Fall sein, dass in einer gegebenen Ermüdungsreihe der erste oder der dritte Abschnitt fehlt; in jenem Falle war die zugemuthete Arbeitsleistung von Anfang an für die Versuchsperson zu gross; in diesem hatte die Versuchsperson die Arbeit nicht lange genug fortgesetzt.

Wie es mir scheint, geht aus diesem Verhalten des objectiven Verlaufes der Ermüdungsreihe hervor, dass am Ende einer solchen, wo der dritte Abschnitt deutlich ausgeprägt ist, in der That die Ermüdung so weit fortgeschritten gewesen, wie es dem Versuchszwecke entspricht.

Noch nach einer anderen Methode habe ich es versucht, den Gang der Ermüdung bei meinen Versuchen zu verfolgen. Zu diesem Zwecke ging ich von folgender Ueberlegung aus.

Beim Heben des Gewichtes braucht der den betreffenden Muskeln abgegebene Willensimpuls nicht nothwendig immer vollkommen gleich gross zu sein. Es kann der Fall sein, dass dieser Impuls bei einer Contraction grösser oder geringer ist, als bei einer anderen, obgleich die geleistete mechanische Arbeit wegen des Anschlages des Handgriffes immer die gleiche ist. Es war also wünschenswerth, die Stärke jeder einzelnen Contraction zu bestimmen. Ich habe versucht, dieses dadurch zu erreichen, dass ich an der Stelle, gegen welche der Handgriff anschlug, einen Gummischlauch anbrachte. Dieser war an dem einen Ende geschlossen und stand mittels einer an dem anderen Ende angebrachten Gummiröhre mit einer Marey'schen Schreibkapsel in Verbindung. Je nachdem der Handgriff am Ende der Contraction stärker oder schwächer gegen den Schlauch gepresst wurde, wurden die von der Schreibkapsel geschriebenen Linien höher oder niedriger und stellten also einen relativen Ausdruck der am Ende der Contraction noch vorhandenen Energie dar.

Um ferner die am Ende der Senkung des Gewichtes stattfindende Geschwindigkeit auszudrücken, placirte ich einen Kardiographen mit Luftübertragung so, dass er vom Handgriff in dem Moment beeinflusst wurde, als das Gewicht gegen die Bodenplatte des Apparates anschlug. War diese Geschwindigkeit eine geringe, so war auch der Ausschlag

des Kardiographen klein; je grösser diese Geschwindigkeit war, um so grösser waren auch die Ausschläge.

Es ist ohne weitere Darlegungen klar, dass die Ausschläge des Gummischlauches immer kleiner werden sollten, je weiter die Ermüdung fortschritt und je geringer dementsprechend die am Ende des Hubes noch vorhandene Energie war. Auf der anderen Seite mussten ja die Ausschläge des Kardiographen im Verlaufe der Versuchsreihe immer grösser werden, wenn in Folge der eintretenden Ermüdung das Gewicht mit immer zunehmender Geschwindigkeit herabgelassen wurde. Diese Voraussetzungen wurden durch die Versuche vollauf bestätigt, wie aus Taf. IV Fig. 2 ersichtlich ist. Die dort abgebildete Curve bezieht sich auf mich selber; die Belastung betrug 25^{kg} und wurde auf 40^{cm} Höhe gehoben. Die Curve *A* ist die vom Schlauche, die Curve *B* die vom Cardiographen erhaltene Curve. Die Curven sind von rechts nach links zu lesen. Aus denselben ist ersichtlich, wie im Laufe des Versuches und ganz besonders am Ende desselben die Ausschläge in der Curve *A* immer kleiner, dagegen die in der Curve *B* immer höher werden — was, wie schon bemerkt, den von mir gemachten Voraussetzungen völlig entspricht.

Ausserdem finden wir noch etwas Anderes. Wenn wir die Spitzen der Curve *A* mit einander verbinden, so erhalten wir keine Gerade, sondern eine Linie von wellenartigem Verlauf. Dies zeigt, dass die Stärke der Contractionen im Verlaufe des Versuches nicht regelmässig abnahm, sondern dass sie trotz der gleichen mechanischen Arbeit deutliche periodische Schwankungen zeigte.

Diese Schwankungen haben mit den von Lombard¹ und Maggiora² mit dem Ergographen geschriebenen, sowie mit den von Treves³ am Kaninchen gewonnenen Ermüdungscurven eine unverkennbare Ähnlichkeit. Die beiden erstgenannten Autoren fassen die Periodicität der Ergographencurven als eine Ermüdungserscheinung auf, und zwar würde sie von Schwankungen der centralen Reize bedingt sein. Treves schreibt die in seinen Curven erscheinende Periodicität der Elasticität des Muskels zu (er bekam diese Curven, indem er die Belastung des elektrisch gereizten Gastrocnemius verkleinerte, nachdem der Muskel für eine stärkere Belastung ermüdet war).

Meines Erachtens sind die von mir bei der Curve *A* beobachteten Wellen in der von Lombard und Maggiora vertretenen Weise zu

¹ Lombard, *Arch. ital. de biologie*. Bd. XIII. S. 371.

² Maggiora, *ibid.* Bd. XXIX. S. 267.

³ Treves, *ibid.* Bd. XXIX. S. 167. Fig. 17 bis 20.

deuten. Dafür spricht ganz besonders die Thatsache, dass auch die in der Curve *B* registrierten Veränderungen einen ähnlichen wellenförmigen Verlauf darbieten; die hier auftretenden Wellen fallen aber nicht immer mit denen der Curve *A* zusammen. Sie können daher nicht von einer und derselben Ursache, etwa Elasticitätsveränderungen, wie es sich Treves vorstellt, bedingt sein, sondern müssen aller Wahrscheinlichkeit nach von der verschiedenen Intensität des Willensimpulses hervorgerufen werden.

Eine nähere Erörterung des Ursprunges und der Bedeutung dieser Wellen muss ich indess hier unterlassen, da mein Versuchsmaterial zu dürftig ist, um eine solche durchzuführen. Aus demselben Grunde muss ich auch die im Verlauf dieser Wellen erscheinenden Einzelheiten unberücksichtigt lassen.

Bei einigen Versuchen habe ich ausserdem auch die Athembewegungen unter Anwendung des Marey'schen Pneumographen registriert. Leider war die zu meiner Verfügung stehende Zeit zu kurz, um diesen Theil meiner Untersuchung einigermaassen befriedigend durchzuführen. Ich muss daher darauf verzichten, die bei der Muskelarbeit auftretenden Veränderungen der Athembewegungen hier zu besprechen, bemerke aber, dass eine genauere Untersuchung derselben für die nähere Erörterung der Ermüdungserscheinungen von einer gewissen Bedeutung wäre, denn die Art und Weise, in welcher die Athembewegungen im Verlaufe einer forcirten Muskelarbeit sich verändern, würde aller Wahrscheinlichkeit nach mit dem Verlauf der Ermüdung in einen nahen Zusammenhang gebracht werden können.

Ich werde jetzt die bei meinen Ermüdungsreihen gewonnenen Ergebnisse kurz zusammenstellen.

Die bei jeder Contraction ausgeführte Muskelarbeit kann bei dem von mir benutzten Apparat sowohl durch Veränderung der Belastung, als durch Veränderung der Hubhöhe variirt werden, und man kann daher ohne Schwierigkeit experimentell prüfen, wie sich die Muskeln verhalten, wenn bei gleichbleibender mechanischer Arbeit die Belastung und Hubhöhe in zweckentsprechender Weise verändert werden.

Die Tabellen I und II stellen einige Versuche zusammen, bei welchen die gleiche mechanische Arbeit, aber bei verschiedenem Gewicht und entsprechend verschiedener Hubhöhe ausgeführt wurde. In jeder Tabelle ist der Tag des Versuches, die Belastung (in Kilogrammen) und Hubhöhe (in Metern), die Zahl der Contractionen in jeder mit einem Intervall von 40 Minuten ausgeführten Ermüdungsreihe aufgenommen; ferner Berechnungen über die mittlere Zahl der Con-

tractionen in jeder Ermüdungsreihe und über die Grösse der in allen drei Reihen zusammen ausgeführten mechanischen Arbeit.

Tabelle I. Versuchsperson S. S. (1899.)

a) Arbeit pro Contraction 5 $\text{kg}\cdot\text{m}$.

	Datum			
	27. Oct.	28. Oct.	31. Oct.	18. Nov.
Belastung und Hubhöhe	10 \times 0.5	20 \times 0.25	25 \times 0.2	25 \times 0.2
Zahl der Contrationen. I. Reihe	302	115	79	129
" " " II. "	402	130	80	150
" " " III. "	284	173	74	103
Mittlere Zahl der Contrationen ¹ .	329	139	78	127
Grösse der mechanischen Arbeit . .	4940	2090	1165	1910

b) Arbeit pro Contraction 6 $\text{kg}\cdot\text{m}$.

	Datum						
	3. Nov.	2. Nov.	1. Nov.	24. Nov.	20. Nov.	21. Nov.	23. Nov.
Belastung und Hubhöhe . . .	12 \times 0.5	20 \times 0.3	30 \times 0.2	12 \times 0.5	15 \times 0.4	20 \times 0.3	30 \times 0.2
Zahl der Contrationen. I. R.	343	113	41	372	287	216	48
" " " II. "	[56] ²	121	37	339	322	122	61
" " " III. "	[102] ³	107	40	303	339	125	40
Mittlere Zahl der Contraction.	343 ⁴	114	39	338	316	154	50
Grösse der mechan. Arbeit	2894	2046	708	6084	5688	2778	894

c) Arbeit pro Contraction 7.5 $\text{kg}\cdot\text{m}$.

	Datum			
	29. Oct.	25. Nov.	7. Nov.	17. Nov.
Belastung und Hubhöhe	15 \times 0.5	15 \times 0.5	25 \times 0.3	25 \times 0.3
Zahl der Contrationen. I. Reihe	83	311	98	60
" " " II. "	94	107	41	54
" " " III. "	161	184	55	44
Mittlere Zahl der Contrationen . .	113	201	65	53
Grösse der mechanischen Arbeit . .	2551	4515	1455	1135

¹ Alle Durchschnittszahlen sind auf Einheiten abgerundet.

² 30 kg Belastung, 0.2 m Hubhöhe.

³ 20 kg Belastung, 0.3 m Hubhöhe.

⁴ Nur die Bestimmung der Reihe I.

Tabelle I. (Fortsetzung.)

d) Arbeit pro Contraction 10 kg-m .

	Datum		
	30. Octbr.	14. Nov.	18. Nov.
Belastung und Hubhöhe	20×0.5	20×0.5	25×0.4
Zahl der Contractionen. I. Reihe	57	40	40
" " " II. "	76	42	35
" " " III. "	40	64	45
Mittlere Zahl der Contractionen . .	58	49	40
Grösse der mechanischen Arbeit . .	1730	1460	1200

Tabelle II. Versuchsperson N. P. (1899.)

Arbeit pro Contraction 6 kg-m .

	Datum					
	9. Nov.	8. Nov.	11. Nov.	24. Nov.	21. Nov.	23. Nov.
Belastung und Hubhöhe . .	12×0.5	20×0.3	30×0.2	12×0.5	20×0.3	30×0.2
Zahl der Contractionen. I. R.	159	118	96	289	112	75
" " " II. "	171	67	70	186	102	86
" " " III. "	138	141	98	160	128	82
Mittl. Zahl der Contractionen	156	109	88	212	114	81
Grösse der mechan. Arbeit	2808	1954	1584	3810	2052	1458

Betrachten wir zuerst die in einem und demselben Versuch von der einen Reihe zur anderen erscheinenden Variationen, so finden wir, dass die Resultate bedeutende Schwankungen aufweisen. Bei S. S. ist die Zahl der während jeder Ermüdungsreihe ausgeführten Contractionen in einigen Versuchen (31. October, 1. November, 2. November und 18. November) ziemlich gleich, während in anderen bei den späteren Ermüdungsreihen die fortschreitende Ermüdung deutlich hervortritt (7., 17., 21. und 24. November), und wieder in anderen die Zahl der Contractionen von der einen Reihe zur anderen stetig zunimmt (26. und 29. October, 20. November). Auch bei N. P. treten dieselben Unregelmässigkeiten hervor.

Daraus folgt, dass man beim Vergleich der einzelnen Versuche nur mit grosser Vorsicht bestimmte Schlussfolgerungen ziehen darf.

Vergleichen wir wieder die zu verschiedenen Tagen bei einer und derselben Belastung und Hubhöhe ausgeführte Zahl der Contractionen,

so finden wir darin unverkennbare Andeutungen der fortschreitenden Uebung, wie es aus folgender Zusammenstellung der Durchschnittszahlen hervorgeht.

Belastung und Hubhöhe	Datum	Durchschn.- Zahl der Contraction.	Versuchs- person
25 × 0.2	31. October	78	S. S.
" "	16. Novbr.	127	
20 × 0.3	2. Novbr.	114	
" "	21. Novbr.	154	
30 × 0.2	1. Novbr.	39	
" "	23. Novbr.	50	
15 × 0.5	29. October	113	N. P.
" "	25. Novbr.	201	
12 × 0.5	9. Novbr.	156	
" "	24. Novbr.	212	

Aus dieser Zusammenstellung folgt, dass Versuche, welche zeitlich weit auseinander liegen, nicht ohne Weiteres unter einander verglichen werden dürfen.

Ich gehe jetzt zu der Frage über, wie sich die Ermüdung gestaltet, wenn bei der gleichen mechanischen Arbeit die Belastung und Hubhöhe in entgegengesetzter Weise verändert werden.

Bei einer Arbeit von 5 kg-m pro Contraction ist die Zahl der Contractions bei S. S. im Mittel bei $10 \times 0.5 : 329$, bei $20 \times 0.25 : 139$ und bei $25 \times 0.2 : 78$ (27. bis 31. October); 16 Tage später bei $25 \times 0.2 : 127$. Also nimmt hier bei zunehmender Belastung und entsprechender Abnahme der Hubhöhe die bis zu eintretender Ermüdung ausgeführte Leistung entschieden ab, und zwar tritt dieses Ergebniss bei den Versuchen am 27. und 31. October in allen einzelnen Ermüdungsreihen deutlich hervor.

Mit einer Arbeit von 6 kg-m sind an S. S. zwei Versuchsreihen ausgeführt. In der ersten, vom 1. bis 3. November, ist die Zahl der Contractions im Durchschnitt bei $12 \times 0.5 : 343$ (die erste Ermüdungsreihe), bei $20 \times 0.3 : 114$ und bei $30 \times 0.2 : 39$. Im ersten Versuche (vom 3. November) wurde bei der 2. und 3. Ermüdungsreihe Arbeit mit bezw. 30×0.2 und 20×0.3 ausgeführt, und zwar verhält sich dabei die Zahl der Contractions ganz in derselben Weise, als bei den Versuchen am 1. und 2. November (56, bezw. 102 Contractions).

Die zweite Reihe mit 6 kg-m Arbeit pro Contraction giebt ganz dasselbe Ergebniss:

$12 \times 0.5:338$, $15 \times 0.4:316$, $20 \times 0.3:154$, $30 \times 0.2:50$ Contr.

In diesen beiden Reihen stellt es sich ganz wie bei der Reihe mit 5 kg-m Arbeit heraus, dass auch in den einzelnen Ermüdungsreihen die Zahl der Contractionen sich in derselben Weise verhält, als die Durchschnittszahlen. Ueberall ist bei 30×0.2 die Zahl der Contractionen geringer als bei 20×0.3 , und bei dieser Combination geringer als bei 15×0.4 , bzw. 12×0.5 . Nur bei 15×0.4 und bei 12×0.5 verwischt sich das Resultat, was unzweifelhaft damit zusammenhängt, dass in diesen Versuchen die Differenz der Belastung nur 3 kg beträgt.

Die Versuche mit 7.5 kg-m Arbeit bei jeder Contraction ergeben dasselbe: bei 15×0.5 ist die Zahl der Contractionen beträchtlich grösser, als bei 25×0.3 , sogar wenn wir den Versuch vom 29. October mit den viel späteren, wo doch die Versuchsperson an diesen Versuchen schon verhältnissmässig geübt war, zum Vergleich wählen.

Endlich folgt aus den Versuchen mit 10 kg-m Arbeit pro Contraction ganz dasselbe, obgleich die absolute Zahl der Contractionen, entsprechend der grossen Arbeitsleistung bei jedem Hub, verhältnissmässig klein ist.

Die an S. S. gewonnenen Resultate finden sich bei den an N. P. ausgeführten vollständig wieder. Bei den Versuchen vom 8. bis 11. November beträgt die durchschnittliche Zahl der Contractionen bei $12 \times 0.5:156$, bei $20 \times 0.3:109$ und bei $30 \times 0.2:88$, und bei den Versuchen vom 21. bis 24. November bzw. 212, 114 und 81.

Diese Versuche zeigen also, dass bei gleicher Arbeitsleistung in mechanischem Sinne die Grösse der Belastung einen sehr bedeutenden Einfluss auf das Erscheinen der Ermüdung ausübt, indem diese um so schneller eintritt, je grösser die Belastung ist. Die am längsten dauernde und daher auch grösste Arbeitsleistung wird also erhalten, wenn die Belastung nicht zu gross ist — immer vorausgesetzt, dass die Arbeit in mechanischem Sinne bei jeder Contraction dieselbe ist.

Dieses Ergebniss wird durch folgende Versuche kräftig unterstützt. Dieselben sind in ganz derselben Weise, wie die früheren, ausgeführt worden, indess mit dem Unterschied, dass in dem einzelnen Versuche die Belastung, die Hubhöhe oder sogar die mechanische Arbeit von der einen Reihe zur anderen verändert wurde.

Tabelle III. Versuchsperson N. P.

Arbeit pro Contract. kg-m	Datum	Reihe des Versuches	Belastung und Hubhöhe	Zahl der Contraction.	Mittel	Grösse der mech. Arbeit (Mittel)
2.5	12. Nov.	I.	25 × 0.1	235	195	488
2.5	"	II.	"	180		
2.5	"	III.	"	170		
5	30. Nov.	III.	10 × 0.5	507	506	2530
5	1. Dec.	I.	"	505		
5	"	II.	25 × 0.2	141	141	705
7.5	29. Nov.	III.	15 × 0.5	246	288	2160
7.5	30. Nov.	II.	"	329		
10	29. Nov.	I.	20 × 0.5	185	156	1560
10	"	II.	"	189		
10	30. Nov.	I.	"	145		
10	28. Nov.	I.	25 × 0.4	63	66	660
10	"	II.	"	54		
10	"	III.	"	80		
12.5	2. Dec.	I.	25 × 0.5	55	55	688

Tabelle IV. Versuchsperson V. O. S.

Arbeit pro Contract. kg-m	Datum	Reihe des Versuches	Belastung und Hubhöhe	Zahl der Contraction.	Mittel	Grösse der mech. Arbeit (Mittel)
5	9. Jan. 1900	I.	25 × 0.2	74	74	370
5	"	II.	20 × 0.25	141	162	810
5	"	III.	"	183		
6	14. Dec. 1899	I.	15 × 0.4	198	233	1398
6	25. Dec. "	II.	"	267		
6	3. Dec. "	I.	20 × 0.3	130	156	936
6	17. Dec. "	II.	"	176		
6	"	III.	"	162		
6	3. Dec. "	II.	30 × 0.2	41	41	246
7.5	4. Dec. "	I.	15 × 0.5	117	117	868
7.5	8. Jan. 1900	I.	25 × 0.3	82	82	615
8	14. Dec. 1899	III.	20 × 0.4	54	67	536
8	16. Dec. "	II.	"	69		
8	25. Dec. "	I.	"	78		
10	14. Dec. "	I.	25 × 0.4	34	41	410
10	16. Dec. "	I.	"	41		
10	25. Dec. "	III.	"	47		

Bei der Versuchsperson N. P. (Tab. III) ist die Zahl der Contractionen bei $10 \times 0.5 \text{ kg-m}$ im Mittel 506, während sie bei $25 \times 0.1 \text{ kg-m}$, also bei einer 50 Proc. kleineren Arbeit, im Mittel nur 195 beträgt. Bei $25 \times 0.2 \text{ kg-m}$ ist die Zahl der Contractionen 141, bei 15×0.5 aber 288. In letzteren Falle ist die mechanische Arbeit 3 Mal so gross als bei 25×0.1 , und dessen ungeachtet ist die Zahl der Contractionen hier beträchtlich grösser. Bei 20×0.5 ist die Zahl der Zuckungen 156, bei 25×0.4 aber nur 66.

Bei der Versuchsperson V. O. S. (Tab. IV) begegnen wir der grössten Zahl der Contractionen (im Mittel 233) bei 15×0.4 . Bei derselben mechanischen Arbeit, aber grösserer Belastung (20×0.3 bzw. 30×0.2) beträgt die Zahl der Contractionen nur 156 bzw. 41. Bei einer Arbeit von 5 kg-m ist die Zahl der Contractionen bei 25×0.2 nur 74 und bei 20×0.25 : 162, während bei 15×0.5 die Zahl der Contractionen 117 beträgt u. s. w.

Endlich stelle ich in Tab. V einige weitere, an mir selbst ausgeführte Versuche zusammen, welche in ganz derselben Richtung wie die schon besprochenen ausgefallen sind. Bei 15×0.3 hat die Zahl der Contractionen ihr Maximum, welches beträchtlich höher ist als bei 20×0.1 , bzw. 20×0.2 und 25×0.1 . Die Zahl der Contractionen bei 20×0.3 ist im Mittel fast ebenso gross, als bei 25×0.1 ; bei 17.5×0.5 ist sie entschieden grösser, als bei 20×0.4 .

Tabelle V. Versuchsperson S. S.

Arbeit pro Contract. kg-m	Datum	Reihe des Versuches	Belastung und Hubhöhe	Zahl der Contraction.	Mittel	Grösse der mech. Arbeit (Mittel)
2	8. Nov.	I.	20×0.1	289	} 271	1626
2	"	II.	"	235		
2	"	III.	"	289		
2.5	15. Nov.	I.	25×0.1	178	} 186	1393
2.5	"	II.	"	195		
2.5	"	III.	"	184		
4	9. Nov.	I.	20×0.2	146	} 165	1980
4	"	II.	"	172		
4	"	III.	"	178		
4.5	5. Nov.	I.	15×0.3	405	} 360	4860
4.5	"	II.	"	377		
4.5	"	III.	"	298		

Tabelle V. (Fortsetzung.)

Arbeit pro Contract. kg-m	Datum	Reihe des Versuches	Belastung und Hubhöhe	Zahl der Contraction.	Mittel	Grösse der mech. Arbeit (Mittel)
6	10. Nov.	I.	20×0.3	137	192	3456
6	"	II.	"	211		
6	"	III.	"	227		
8	13. Nov.	I.	20×0.4	114	90	2160
8	"	II.	"	86		
8	"	III.	"	70		
8.75	26. Nov.	I.	17.5×0.5	127	121	3176
8.75	"	II.	"	113		
8.75	"	III.	"	124		
11.25	27. Nov.	I.	22.5×0.5	76	79	2666
11.25	"	II.	"	86		
11.25	"	III.	"	75		
12.5	19. Nov.	I.	25×0.5	26	30	1125
12.5	"	II.	"	35		
12.5	"	III.	"	29		

Dass sich keine directe Abhängigkeit zwischen der Arbeit in mechanischem Sinne und physiologischer Arbeitsfähigkeit vorfindet, sondern dass die letztere vor Allem von der Grösse des zu hebenden Gewichtes bestimmt wird, geht, wie es mir scheint, äusserst deutlich aus der Tab. VI (s. nächste Seite) hervor, in welcher ich alle meine Versuche nach der mittleren Zahl der bei einer gewissen Belastung und Hubhöhe ausgeführten Contractionen zusammengestellt habe. Um die von Zufälligkeiten bedingten Variationen so weit als möglich auszuschliessen, habe ich, wie ersichtlich, die Intervallen ziemlich gross gewählt.

Bei einer mechanischen Arbeit von 12.5 kg-m (25×0.5) habe ich nicht mehr als 50 Contractionen machen können; der Apparat gestattete keine grössere Hubhöhe als 0.5 m , ich konnte demnach nicht eine Arbeit dieser Grösse bei geringerer Belastung ausführen. Aus demselben Grunde war es nicht möglich, eine Arbeit von 10 kg-m mit geringerer Belastung als 20 kg auszuführen. Derartige Arbeitsmengen können also nicht zur Erörterung der von mir gezogenen Schlussfolgerung dienen.

Bei einer Arbeit aber von 7.5 kg-m pro Contraction finden wir bei einer Belastung von 25 kg nicht mehr als 100 Contractionen, wäh-

Tabelle VI. Versuchsperson S. S.

Zahl der Contraction.	Belastung und Hubböhe	Mechan. Arbeit	Zahl der Contraction.	Belastung und Hubböhe	Mechan. Arbeit
< 50	30 × 0.2	6	101—150	20 × 0.3	6
	"	6		15 × 0.5	7.5
	25 × 0.4	10		17.5 × 0.5	8.75
	20 × 0.5	10	151—200	25 × 0.1	2.5
51—100	25 × 0.5	12.5		20 × 0.2	4
	25 × 0.2	5		20 × 0.3	6
	30 × 0.2	6		"	6
	25 × 0.3	7.5	201—250	15 × 0.5	7.5
	"	7.5	251—300	20 × 0.1	2
	20 × 0.4	8	301—350	10 × 0.5	5
	20 × 0.5	10		12 × 0.5	6
101—150	22.5 × 0.5	11.25		"	6
	20 × 0.25	5		15 × 0.4	6
	25 × 0.2	5	351—400	15 × 0.3	4.5
	20 × 0.3	6			

Versuchsperson N. P.

51—100	30 × 0.2	6	151—200	25 × 0.1	2.5
	"	6		12 × 0.5	6
	25 × 0.4	10		20 × 0.5	10
	25 × 0.5	12.5	201—250	12 × 0.5	6
101—150	25 × 0.2	5	251—300	15 × 0.5	7.5
	20 × 0.3	6	> 400	10 × 0.5	5
	"	6			

Versuchsperson O. S.

< 50	30 × 0.2	6	101—150	15 × 0.5	7.5
	25 × 0.4	10	151—200	20 × 0.25	5
51—100	25 × 0.2	5		20 × 0.3	6
	25 × 0.3	6	201—250	15 × 0.4	6
	20 × 0.4	8			

rend bei 15^{kg} Belastung die Zahl der Contractionen mehr als 200 beträgt.

Noch deutlicher tritt die betreffende Gesetzmässigkeit bei 6^{kg-m} Arbeit hervor. Bei 30^{kg} Belastung wurden weniger als 100 Contractionen gemacht, bei 20^{kg} etwa 200, bei 12^{kg} mehr als 300.

Auch die an N. P. und O. S. ausgeführten Versuche führen zu demselben Resultat; eine nähere Erörterung derselben dürfte aber hier nicht nöthig sein.

Ich glaube daher berechtigt zu sein, als Ergebnisse dieser Versuche folgende Sätze auszusprechen:

1. Arbeitsgrössen, welche in mechanischem Sinne gleich sind, können in physiologischer Hinsicht sehr verschieden sein.

2. Die Zahl der Contractionen bis zur Ermüdung ist bei gleich grosser mechanischer Arbeit grösser, wenn die Belastung verhältnissmässig klein ist.

Hieraus folgt, dass

3. die Anstrengung bei der Arbeit weniger von der Grösse der mechanischen Leistung, als von der absoluten Grösse der Belastung abhängig ist.

Als Maass der physiologischen Anstrengung bei einer gewissen Arbeit konnte man die Zahl der Contractionen bis zu eintretender Ermüdung auffassen, und also als physiologisch äquivalent diejenigen Combinationen bezeichnen, bei welchen die Zahl der Contractionen dieselbe gewesen ist. Aus der Tab. VI würde sich demnach etwa Folgendes ergeben:

Versuchsperson S. S.	Zahl d. Contr.
$30 \times 0.2 = 25 \times 0.5$ bis $0.4 = 20 \times 0.5$	< 50
$30 \times 0.2 = 25 \times 0.3$ bis $0.2 = 22 \times 0.5 = 20 \times 0.5$ bis 0.4	51—100
$25 \times 0.2 = 20 \times 0.3 = 17 \times 0.5$	101—150
$25 \times 0.1 = 20 \times 0.3$ bis 20×0.2	151—200

u. s. w.

Aus dieser Zusammenstellung lässt sich, in Uebereinstimmung mit dem früher Dargestellten, folgern, dass bei physiologisch äquivalenter Arbeit die Zunahme der Belastung von einer verhältnissmässig grösseren Abnahme der Hubhöhe begleitet wird, und es liegt nahe, zu untersuchen, inwiefern sich bestimmte Zahlenangaben in dieser Richtung aufstellen lassen. Leider ist aber das thatsächliche Material, welches zu meiner Verfügung steht, lange nicht genügend, um zu gestatten, eine solche Berechnung auszuführen, wie ich auch ausdrücklich bemerken will, dass die soeben zusammengestellten Zahlen der physiologischen Aequivalente nur darum mitgetheilt sind, um zu zeigen, wie die vorliegende Frage, meiner Meinung nach, zu behandeln ist, und also keineswegs beabsichtigen, diese Frage bestimmt zu beantworten.

Ich gestatte mir, noch einen Versuch mitzutheilen, den ich mit Hinsicht auf das interessante Resultat, welches Treves über die Aus-

dauer bei statischer Arbeit unlängst mitgetheilt hat, ausgeführt habe. Treves fand, dass bei statischer Arbeit, d. h. bei Hochhaltung eines Gewichtes, ohne dasselbe zu heben, das Product des Gewichtes durch die Zeit constant war. Ich konnte allerdings nur einen Versuch in dieser Richtung ausführen, theile ihn indessen hier mit, da ich zur Zeit dieses Versuches (3. Dec.) schon ziemlich trainirt war. Zum Vergleich stelle ich einen Versuch von Treves¹ mit dem meinigen zusammen.

Versuchsperson von Treves. 15. April 1899				Versuchsperson S. S. 3. December 1899			
Gewicht in Gramm (P)	Zeit in 2'' (T)	P × T	Ver- hältnisse- Zahlen	Gewicht in Gramm (P.)	Zeit in 2'' (T)	P × T	Ver- hältnisse- Zahlen
14 806	71.2	1 054 187	0.93	15 000	360	5 400 000	4.6
20 153	64.3	1 295 837	1.14	20 000	232.5	4 650 000	4.0
23 511	47.6	1 119 123	0.99	25 000	81.2	2 030 000	1.7
32 000	35.3	1 129 600	1.00	30 000	39.0	1 170 000	1.0

Die Zahlen von Treves und die meinigen unterscheiden sich also sehr wesentlich von einander. Die Ursache dieses Unterschiedes liegt zum Theil wohl darin, dass ich die gesammte Armmuskulatur, Treves aber nur den einen Biceps benutzte. Dieser Unterschied genügt aber nicht, um die stattfindenden Differenzen zu erklären. Dass das Product $P \times T$ bei meinem Versuch um so kleiner wird, je grösser die Belastung, steht übrigens in vollkommener Uebereinstimmung mit den übrigen Erfahrungen, die ich über den Einfluss der Belastung auf die Leistungsfähigkeit der Muskeln gewonnen habe. Vielleicht kann die Differenz doch daraus erklärt werden, dass die Versuchsperson von Treves kräftiger war, als ich, denn bei der grössten Belastung konnte diese mit nur einem Biceps das Gewicht fast ebenso lange gehoben halten, als ich mit der gesammten Muskulatur der beiden Arme.

II.

Im Jahre 1897 versuchten Binet und Vaschide unter Anwendung des gewöhnlichen Dynamometers Regnier's die Muskelkraft bei 83 Schülern in zwei Schulen zu bestimmen. Jeder Schüler hatte das Dynamometer abwechselnd mit der linken und der rechten Hand 5 bis

¹ Treves, *Archiv f. die ges. Physiol.* 1899. Bd. LXXVIII. S. 181.

10 Mal zu drücken. Aus ihren Versuchen ziehen die Verfasser den Schluss, dass sich die Muskelkraft bei verschiedenen Individuen in verschiedener Weise entwickelt und stellen in dieser Hinsicht für die jüngeren Knaben vier Typen: 1. Type de la décroissance brusque, puis stationnaire; 2. Type stationnaire; 3. Type de la décroissance continue; 4. Type de croissance continue, sowie für die älteren drei Typen auf: 1. Type stationnaire; 2. Type de croissance; 3. Type de décroissance.¹ Bei jeder Versuchsperson wurde indess nur ein Mal die Reihe ausgeführt; die Einwirkung der Uebung und zufällige Einflüsse wurden also hier gar nicht berücksichtigt.

Um diese Ergebnisse näher zu prüfen, habe ich die Versuche von Binet und Vaschide bei erwachsenen Menschen wiederholt, und zwar mit dem Unterschiede, dass bei jeder Versuchsperson mehrere Reihen an verschiedenen Tagen ausgeführt wurden.² In jeder Reihe hatte jede Versuchsperson das Dynamometer mit der grössten Willensanstrengung abwechselnd mit jeder Hand 15 Mal zu drücken; bei den zwei und drei letzten Pressionen wurde die Versuchsperson nochmals aufgefordert, die grösstmögliche Muskelarbeit zu leisten. Um die Einwirkung zufälliger Einflüsse so weit möglich auszuschliessen, habe ich für jede Reihe das Mittel aus je 3 nacheinander folgenden Pressionen 1. bis 3., 4. bis 6., 7. bis 9. u. s. w.) berechnet, und schliesslich, um den wirklichen Typus festzustellen, aus allen an einer und derselben Versuchsperson ausgeführten Versuchsreihen das Mittel für die 1. bis 3., 4. bis 6., 7. bis 9., 10. bis 12., 13. bis 15. Pression gezogen.

Es würde viel zu viel Raum beanspruchen, wollte ich alle meine Reihen hier in extenso mittheilen. Ich bemerke nur, dass bei keiner einzigen unter meinen 10 Versuchspersonen der gleiche Typus (im Sinne Binet's und Vaschide's) an den verschiedenen Versuchstagen erschienen ist; im Gegentheil kamen von dem einen Tage zum anderen ganz verschiedene Typen zum Vorschein, und man könnte die Zahl der von diesen Autoren aufgestellten Typen noch um einige andere vermehren, bei welchen Zu- und Abnahme der Muskelkraft ganz unregelmässig auftritt, was wahrscheinlich mit den Antriebswirkungen im Zusammenhange stand.

Auch hat die „Tagesdisposition“ auf den Typus einen deutlichen Einfluss ausgeübt, wie es aus der Tab. VII hervorgeht. Diese Tabelle ist in der Weise berechnet, dass alle Tage, an welchen das Mittel

¹ Binet et N. Vaschide, *L'année psychologique*. Vol. 4. Paris 1898.

² Die Versuche wurden zum grössten Theil nach meiner Rückkehr von Stockholm in Moskau ausgeführt.

sämmtlicher Pressionen grösser als das Gesamtmittel für die betreffende Versuchsperson gewesen ist, als Tage mit guter Disposition bezeichnet sind, während die Tage, deren Mittel dem Gesamtmittel entspricht, als Tage mittlerer Disposition, und endlich die Tage, wo das Mittel kleiner als das Gesamtmittel war, als Tage mit schlechter Disposition aufgenommen sind.

Tabelle VII.

Typen	stat.	croiss.	décroiss	irrég.	Summa
Rechte Hand.					
Gute Dispos.	2	3	2	2	9
Mittl. Dispos.	1	1	10	8	20
Schlechte D.	—	2	5	4	11
Linke Hand.					
Gute Dispos.	2	1	5	1	9
Mittl. Dispos.	1	—	14	6	21
Schlechte D.	—	1	5	4	10

Wie aus der Tabelle ersichtlich, kommen bei guter Disposition alle Typen vor, bei mittlerer und schlechter Disposition sind Types décroiss. und irrég. vorherrschend.

Aus diesen Erfahrungen folgt, dass der individuelle Typus der Entwicklung der Muskelkraft durch eine einzelne Reihe mit dem Dynamometer nach dem Vorgange von Binet und Voschide nicht einwurfsfrei bestimmt werden kann. Nur als Mittel von mehreren Reihen lassen sich bei verschiedenen Individuen verschiedene Typen aufstellen, welche indess, wie der folgenden Tab. VIII (s. nächste Seite) hervorgeht, nur selten ein wirklich charakteristisches Gepräge darbieten.

Unter den in dieser Tabelle aufgenommenen Versuchsergebnissen finden wir keinen einzigen deutlichen Type croissant. Unverkennbare Beispiele eines Type décroissant haben wir in Nr. 4 (L. H.), 6 (R. H., L. H.), 8 (L. H.), 9 (L. H.), 10 (R. H., L. H.), also insgesamt in 7 Fällen von 20. Einem deutlichen Type stationnaire begegnen wir in Nr. 3 (R. H.), 7 (R. H.), 8 (R. H.), 9 (R. H.), also in 4 Fällen. Die übrigen 9 Fälle scheinen mir so unregelmässig zu verlaufen, dass sie nur mit Schwierigkeit als einem bestimmten Typus zugehörig aufgefasst werden können.

Da diese unregelmässigen Fälle aber die zahlreichsten sind, ist es kaum anzunehmen, dass die Methode von Binet und Vaschide ge-

eignet wäre, wichtigere Aufschlüsse über die „Entwicklung der Muskelkraft“ bei verschiedenen Individuen zu gestatten.

Zum Schluss möchte ich nochmals meinen herzlichsten Dank an Herrn Prof. R. Tigerstedt für den liebenswürdigen Vorschlag der Arbeit, für stetes Interesse, Aufmunterung und Hülfe bei der Arbeit selbst, als auch bei der Bearbeitung des gewonnenen Materials ausdrücken.

Tabelle VIII.

Mittel der Pressionen	1. V. O. S.		2. F. W.		3. J. S.		4. J. D.		5. S. K.	
	R. H.	L. H.	R. H.	L. H.	R. H.	L. H.	R. H.	L. H.	R. H.	L. H.
1.—3.	32.2	27.2	42.1	39.8	41.5	38.2	44.9	40.3	37.7	35.8
4.—6.	38.2	27.6	42.5	40.6	41.3	38.1	43.2	36.8	38.2	35.0
7.—9.	33.3	27.2	43.0	39.7	41.8	37.2	41.9	35.8	37.0	34.1
10.—12.	32.9	25.8	42.7	39.2	41.1	36.9	42.0	35.0	36.0	35.3
13.—15.	33.0	25.6	43.1	39.1	41.3	37.4	43.1	35.2	36.0	33.4
Allg. Mittel	32.9	26.9	42.7	39.7	41.3	37.5	43.1	36.5	37.0	34.6

Mittel der Pressionen	6. S. S.		7. J. G.		8. N. C.		9. T. W.		10. M. P.	
	R. H.	L. H.	R. H.	L. H.	R. H.	L. H.	R. H.	L. H.	R. H.	L. H.
1.—3.	35.5	32.3	39.2	35.1	47.7	40.4	37.5	40.8	35.8	35.2
4.—6.	34.4	31.1	38.7	34.1	47.1	41.5	38.7	38.3	34.4	33.1
7.—9.	33.9	31.4	37.7	33.7	46.8	38.7	37.6	36.8	33.5	34.0
10.—12.	31.6	30.1	38.5	34.3	47.1	39.2	37.3	34.6	32.6	32.8
13.—15.	32.7	28.6	38.1	34.1	47.1	37.1	38.2	35.4	32.0	32.5
Allg. Mittel	33.5	30.7	38.4	34.2	47.2	39.4	37.8	37.1	33.7	33.5

Anmerkung. Die Zahlen stellen Mittel aus je 5 Versuchstagen dar; nur bei den 3 letzten Versuchspersonen beziehen sich die mittleren Werthe auf je 3 Versuchstage.

Ueber die Bewegungen im Handgelenke des Menschen.¹

Eine röntgographische Studie

von

Gösta Forssell.

(Aus der anatomischen Anstalt des Carolinischen medico-chirurgischen Institutes in Stockholm.)

(Hierzu Taf. V—VII).

Das Handgelenk ist eines der Gelenke, deren Form und Dimensionen ganz besonders eine Untersuchung mittels Röntgenlicht gestatten. Eine derartige Untersuchung muss um so dankbarer sein, als der anatomische Bau dieses Gelenkes einer exacten Analyse desselben nach den für das Studium der Gelenke sonst gebräuchlichen Methoden fast unüberwindliche Hindernisse in den Weg stellt. Mehrere Autoren haben auch bereits Radiogramme des Handgelenkes geschildert, nämlich T. H. Bryce (1), E. Zuckerkindl (2), H. Virchow (3 bis 5), A. Bühler (6) und E. R. Corson (7). Die erstgenannten Forscher — Corson's Abhandlung stand mir nicht zur Verfügung — beschäftigen sich nur mit den Abductionsbewegungen und sind zu wesentlich verschiedenen Resultaten gekommen. Ueberdies sind sie nicht röntgographisch geübt gewesen, und die Reproduktionen der von ihnen studierten Röntgogramme geben bei näherer Prüfung an die Hand, dass die Bilder derselben Serie nicht mit der wünschenswerthen Gleichförmigkeit ausgeführt worden sind.

In Folge dessen war eine neue Untersuchung von Interesse, und zwar sowohl, um eine genauere Kenntniss von den Abductionsbewegungen zu erhalten, wie auch den Verlauf bei der Dorsal- und Volarflexion zu erforschen zu suchen.

¹ Bei der Redaktion am 10. April 1901 eingegangen.

I. Untersuchungsmethode.

Ulnare und radiale Abduction.

Radiographirung des Handgelenkes in sagittaler Richtung habe ich mit erwünschtem Resultat in fünf Fällen ausgeführt, von denen drei Dorsalbilder (die dorsale Seite der Hand nach der Platte) sind, während zwei Fälle von sowohl Dorsal- als Volarbildern repräsentirt sind.

Bei der Radiographirung ist folgendes Verfahren angewandt worden:

Der Vorderarm ist auf einer planen Unterlage fest fixirt und während der Radiographirung der verschiedenen Lagen der Hand in derselben Stellung belassen worden. Die Fixirung suchte ich während der ersten Zeit der Untersuchung dadurch zu erlangen, dass ich über den Vorderarm und das Ellbogengelenk Sandbeutel placirte. Bei drei Fällen (I bis III) von den zahlreichen Radiographirungen, die ich mit dieser Anordnung ausführte, gelang es mir, eine befriedigende Fixirung des Radius zu erhalten. Bei den später aufgenommenen Radiographien (Fall IV und V) habe ich den Vorderarm mit einem besonders dafür construirten Apparat fixirt, auf welchem der Vorderarm mit breiten Riemen oberhalb des Handgelenkes und unterhalb des Ellbogens an eine plane Scheibe sicher befestigt und ausserdem noch wie vorher mit Sandbeuteln umgeben wurde. Hierdurch wurde eine gute Fixirung erreicht. Eine Eingipsung des Vorderarmes ist auch versucht worden, doch zeigte es sich, dass einer störenden Rotation in den Radioulnargelenken durch den Gipsverband nicht vorgebeugt werden konnte.

Die Röntgenlampe ist mit dem Antikathodenspiegel parallel zu der Ebene, an die der Unterarm befestigt war, eingestellt worden, und — die Hand in gestreckter Stellung — über der Mittellinie in gleicher Höhe mit den Eminentiae carpi oder 2^{cm} distal von dem dorsalen Rande der Gelenkfläche des Radius gegen den Carpus genau centrirt worden.

In diesem Lageverhältniss zu dem gleichfalls fixirten Vorderarm ist die Lampe bei der Radiographirung der verschiedenen Pausen der Abductionsbewegung unverrückt geblieben.

Um zu bewirken, dass die verschiedenen Momente der Bewegung in einem und demselben Plane ausgeführt wurden, benutzte ich, wenn die dorsale Seite der Hand nach der Platte gewendet war, eine dünne hölzerne Scheibe, welche auf dem Handrücken festgespannt wurde, auf den Fingern und der halben Mittelhand ruhend, und die mit ihrer planen, unteren Fläche bei Ausführung der Bewegung gegen die Platte glitt, welche den Vorderarm trug. Ohne eine solche Vorkehrung ist es — wegen der gewölbten Form der Handwurzel und Mittelhand — meiner Erfahrung gemäss fast unmöglich, mit der Dorsalfläche nach der Photographieplatte bei Einnahme der verschiedenen Stellungen

dieselbe Neigung der Hand zur Unterlage beizubehalten. Wenn die Volarseite gegen die Platte gewendet wurde, begnügte ich mich damit, die Handfläche fest gegen dieselbe stützen zu lassen. Die Röntgenplatte wurde bei den Pausen der Bewegung mit grösster Vorsicht unter die Hand geschoben.

Bei Radiographirung der Abductionsstellungen von dem ulnaren bzw. radialen Rande der Hand war es nicht möglich, den Vorderarm in derselben Stellung zu behalten. Um Bilder zu bekommen, wo die Carpalknochen auf der nach der Platte gewandten Seite so wenig als möglich von den Knochen des Vorderarmes und der Mittelhand verdeckt waren, stellte ich die Hand so ein, dass die Mittelhand und der Vorderarm in maximaler Abductionsstellung ungefähr denselben Winkel gegen die Photographieplatte bildeten.

Wenn die Abduction nach der von der Platte abgewandten Seite ausgeführt wurde, ward die Handwurzel gegen die Platte gestützt. Wurde die Bewegung in entgegengesetzter Richtung ausgeführt, so wurde die Platte auf eine Unterlage möglichst nahe der Handwurzel placirt, stets so, dass Vorderarm und Mittelhand denselben Neigungsgrad zur Platte hatten. Der Antikathodenspiegel wurde über der Mitte des Winkels zwischen Vorderarm und Mittelhand eingestellt. Arm und Hand wurden mit der Dorsalfläche winkelrecht zur Unterlage placirt, und zwar so genau, als sich dies thun liess. Ich habe von verschiedenen Händen in diesen Stellungen Radiographien aufgenommen, aber nur von einer Hand mit gracilen Knochen (= Fall I der Flächenansichten) habe ich ein so gut gelungenes Bild erhalten können, dass die Contouren der Carpalknochen haben unterschieden und zugleich die vertikale Stellung hat beibehalten werden können.

Die Abductions- und Oppositionsbewegungen des Daumens habe ich mit Fixirung des Vorderarmes radiographirt, und zwar ebenso wie bei der Aufnahme der Flächenansichten von den Abductionsstellungen, und ausserdem mit Sandbeuteln über den Fingern, ausser dem Daumen, die Hand in fester Lage erhalten. Der Daumen ist bei der einen Exponirung, soweit dies durch die eigenen Muskeln möglich war, opponirt worden; bei einer anderen Exponirung ist eine maximale Abductionsbewegung des Daumens ausgeführt, die Hand aber übrigens wie auch Röntgenlampe und Vorderarm in ihrer Lage belassen worden. Der Daumen wurde in beiden Stellungen von Sandbeuteln gestützt.

Volar- und Dorsalflexion.

Röntgogramme der Volar- und Dorsalflexion von der ulnaren bzw. radialen Seite der Hand sind nach demselben Principe wie die

Flächenansichten der Abductionsstellungen aufgenommen worden: Fixirung des Vorderarmes und des Röntgenrohres während der verschiedenen Momente der Bewegung; Bewegungsplan parallel zur Photographieplatte. Die Antikathode wurde dicht distal von der Spitze des Proc. styl. radii oder über dem Os triquetrum eingestellt.

Vorderarm und Ellbogen wurden in Sandbeutel eingebettet.

Der Uebergang von der einen Stellung zur anderen muss äusserst vorsichtig geschehen und unter genauer Beachtung, dass der Frontalplan der Hand winkelrecht zur Platte erhalten und der Unterarm nicht verschoben wird. Dazu kommt die Schwierigkeit, photographisch gut gelungene Platten zu erhalten, weil hier eine längere Expositionszeit nöthig ist, um die Contouren der Carpalknochen hervortreten zu lassen, und weil Zitterbewegungen dann sehr schwer zu vermeiden sind.

Trotz aller Vorsichtsmaassregeln ist es mir deshalb nur in zwei Fällen gelungen, anwendbare Röntgogramme von diesen Stellungen zu erhalten, und dies auch nur nach wiederholten Röntgographirungen derselben Hände.

Bei der Aufnahme von Flächenansichten der Volar- und Dorsalflexion habe ich dieselbe Methode benutzt wie bei der Röntgographirung der Abductionsstellungen von der ulnaren oder radialen Handseite. Nach eingenommener Flexionsstellung wurde die Hand also so placirt, dass Vorderarm und Mittelhand einen gleichen Winkel zur Platte bildeten.

Galt es Bilder von der Dorsalseite der Hand aufzunehmen, so wurde bei Volarflexion die Handwurzel gegen die Platte gestützt; bei Dorsalflexion der Hand wurde eine schmale Platte auf eine Unterlage so nahe der Handwurzel wie möglich (ungefähr $\frac{1}{2}$ cm die grösste Entfernung) placirt. Mit ähnlicher Anordnung wurde die Volarseite röntgographirt.

Bei diesen Radiographirungen habe ich versucht, den radio-ulnaren Durchmesser des Vorderarmes parallel zur Platte beizubehalten, um einigermaassen correspondirende Contouren vom Radius zu erhalten.

Bei sämtlichen Exponirungen sind die Finger von Sandbeuteln gestützt worden, um Zitterungen zu vermeiden und die Hand in der gewünschten Lage beizubehalten. Die Bewegungen des Handgelenkes sind durch seine eigene Musculatur ausgeführt, also keine passiven Bewegungen hervorgerufen worden. Die Röntgenlampe ist bei allen Exponirungen so placirt worden, dass der Mittelpunkt des Antikathodenspiegels sich 40 cm von der Photographieplatte befunden hat.

Die Radiogramme sind, ausser auf gewöhnlichen photographischen Kopien, in der Weise studirt worden, dass ich die Contouren der Knochen sorgfältig markirt habe, indem ich auf der Hautseite des Negativs feine Bleistiftpunkte mit ungefähr 1^{mm} Zwischenraum bei durchfallendem Lichte in dieselben zeichnete. Ueber die Hautseite des Negativs habe ich dann durchscheinendes Pauspapier straff gespannt, welches auf der Glasseite der Platte mit Siegelack befestigt wurde. Die punktirten Contouren werden gegen das Licht durch das Pauspapier scharf sichtbar und werden darauf gezeichnet.

Man kann zwar ohne vorhergehende Punktirung die meisten Contouren durch das Pauspapier hindurch unterscheiden, in vielen Fällen aber wird eine auf dem Negativ völlig deutliche Contour vom Papier verdeckt. Die auf dem Negativ ausgeführte und unter Vergleichung mit Knochenpräparaten genau überlegte Punktirung macht indess die Zeichnung weit sicherer. Man vermeidet durch dieselbe, das Papier abheben zu müssen, um eine unsichere Contour zu controliren. Dies ist eine zeitraubende und geduldprüfende Copirungsweise, die Vortheile aber, die sie bringt, sind ausserordentlich gross. Man erhält auf durchscheinendem Papier eine Contourenzeichnung, welche eine directe Copie des Radiogrammes ist, und kann dadurch, dass man die Bilder eines Knochens in verschiedener Stellung der Hand übereinander placirt, die Veränderungen in seiner Contour, wie die Verschiebung der umgebenden Knochen im Verhältniss zu demselben genau beobachten.

Der Zweck der nun beschriebenen Anordnung bei der Aufnahme der Flächenansichten der ulnaren und radialen Abductionsstellungen und der Randbilder der Volar- und Dorsalflexionsstellungen ist der gewesen, in den verschiedenen Pausen der Bewegung congruente Bilder von den Vorderarmknochen und eine Projection des Handskelettes auf einem Plane, parallel zum Bewegungsplane der Hand zu erhalten und die Lichtaxe (Vergrösserungsaxe) so nahe wie möglich mit der Rotationsaxe zusammenfallend zu verlegen.

Darum sind Vorderarm und Röntgenrohr fixirt worden; darum ist eine bestimmte Neigung der Handfläche gegen die Platte während jeder Bewegungsreihe beibehalten worden, und zu diesem Zwecke bin ich bestrebt gewesen, den Antikathodenspiegel so genau wie möglich über das Köpfchen des Capitatum zu centriren.

Ob diese Centrirung gelungen ist, kann nur durch das Resultat der Röntgographirung entschieden werden, indem dann die Knochen in der Hand, welche sich bei der Bewegung nur im Plane der Haupt-

bewegung bewegt haben, auf den Röntgographien derselben Reihe congruente Contouren zeigen werden.

Nur nach einer mit Erfolg durchgeführten Anordnung der nun beschriebenen Art kann man nach einer Veränderung der Contour der Knochen auf den Röntgogrammen auf die von ihnen ausgeführten Bewegungen zu schliessen wagen. Denn fixirt man nicht den Vorderarm im Verhältniss zum Rohre, so wird dessen Projection äusserst leicht verändert, wodurch Schwierigkeit entsteht, die Verschiebung der Carpalknochen gegen denselben zu beurtheilen; behält die Hand nicht ihre Neigung gegen den Projectionsplan bei, dann können ganz irreführende Contourveränderungen in der Projection sämtlicher Carpalknochen eintreten; fällt nicht die Lichtaxe durch das Rotationscentrum oder dessen unmittelbare Nähe, dann verändern trotz Beobachtung aller übrigen Vorsichtsmaassregeln auch die Knochen, welche während der Ausführung der Bewegung ihre Neigung zum Bewegungsplane beibehalten, ihre Contour.

Bei Aufnahme der Randbilder der Abductionsstellungen und der Flächenansichten der Flexionsstellungen hat es sich nicht machen lassen, bei der Röntgographirung der verschiedenen Stellungen von derselben Seite der Hand direct mit einander vergleichbare Bilder zu erhalten, sondern es ist meine Absicht gewesen, möglichst deutliche Bilder von den Carpalknochen und zugleich eine solche Einstellung der Lampe zu erzielen, dass man eine Projection des Handskelettes erhielt, die man verhältnissmässig leicht durch die winkelrecht zu diesen aufgenommenen Bildern controliren konnte.

Die Röntgogramme, welche dieser Untersuchung zu Grunde liegen, habe ich (Januar bis September 1900) in Dr. Thor Stenbeck's Röntgeninstitut ausgeführt, wo ich damals Assistent war. Für das Entgegenkommen, womit mir Dr Stenbeck Local und Röntgenlampe zur Verfügung gestellt hat, wie für seinen werthvollen Unterricht in der Röntgentechnik, möchte ich demselben hier meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

Desgleichen ist es mir eine liebe Pflicht, Herrn Professor Erik Müller für das Interesse, welches er meiner Arbeit geschenkt hat, warm zu danken.

II. Bei der Analyse der Röntgogramme benutzte mathematische Sätze.

Wir betrachten die Bewegung in einem Plan bei einem Gelenksystem von folgendem Bau (Fig. 1). Gegen einen fixirten Körper ABE_1D_1 mit

concave, sphärischer Gelenkfläche $D_1 E_1$ bewegt sich eine Lamelle $D_1 E_1 G_1 F_1$, deren convexe Rotationsfläche in den Theilen, welche $D_1 E_1$ berühren, denselben Krümmungsradius R und dasselbe Rotationscentrum C hat wie diese Fläche.

Gegen die distale, concave Fläche dieser Lamelle führt wieder ein dritter Körper $F_1 G_1 LK$.

Deren correspondirende Rotationsflächen haben, wie wir annehmen, den Radius r und das Beweguncscentrum M .

Die Entfernung zwischen C und M ist $= a$ angenommen.

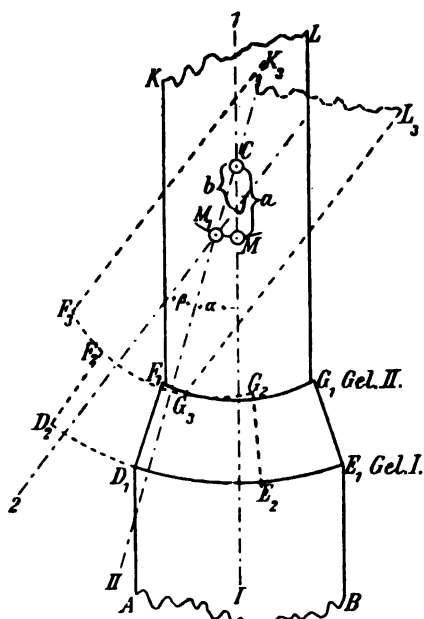


Fig. 1.

Als Ausgangsstellung wird die Lage gewählt, wo die Symmetrielinien (= bestimmte Normale zu den betr. Rotationsflächen) der drei Gelenksegmente zusammenfallen.

Eine Bewegung des Gelenksystems, wodurch das distale Gelenksegment von der Lage $F_1 G_1 LK$ nach der Lage $F_2 G_2 L_2 K_2$ verlegt wird, so dass dessen Symmetrielinie in der Lage 2 mit ihrer Richtung in der Lage 1 den Winkel $\alpha + \beta$ bildet, entsteht, wie angenommen, durch eine Bewegung in beiden Gelenken.

Diese in beiden Gelenken gleichzeitig ausgeführte Bewegung kann man sich in zwei Momente getheilt denken: 1. die Lamelle $D_1 E_1 G_1 F_1$ rotirt gegen das fixe Gelenksegment $A B E_1 D_1$ zur Lage $D_2 E_2 G_2 F_2$, so dass die Symmetrielinie in der Lage II den Winkel α

mit der Ausgangslage I bildet. Durch diese Bewegung nimmt die Fläche $F_1 G_1$ die Lage $F_2 G_2$ ein, wobei deren Mittelpunkt M sich längs eines Kreisbogens verschoben hat, dessen Mittelpunkt C und dessen Halbmesser a ist, bis M_1 . 2. Das distale Gelenksegment, welches an der Bewegung der Lamelle theilgenommen hat, als ob es mit derselben fest verbunden gewesen wäre, rotirt um den Mittelpunkt M_1 bis zur Lage $F_3 G_3 L_3 K_3$, so dass dessen Symmetrielinie in der Lage 2 mit der Symmetrielinie der Lamelle $D_2 E_2 G_2 F_2$ in deren Lage II den Winkel β bildet.

Die Symmetrielinie des distalen Segmentes in der Lage 2 wird ausgezogen, bis sie im Punkte J dieselbe Linie in ihrer Lage 1 schneidet.

Die Entfernung zwischen C und J nennen wir b .

Es gilt nun, bei einem doppelten Gelenke mit gewisser begrenzter Beweglichkeit in beiden Gelenken einen mathematischen Ausdruck für die Entfernung (a) zwischen den Mittelpunkten (C und M) der betreffenden

Gelenkflächen unter dem Verhältniss zu finden, dass die Projectionen einer gewissen Normalen zu der Rotationsfläche des distalen Segments unter verschiedenen Stellungen des Gelenksystems, wobei in beiden Gelenken eine Rotation stattgefunden hat, in einem Punkte einander schneiden, und ferner einen Ausdruck für die Lage dieses Schnidepunktes (J) im Verhältniss zu den Rotationscentren (C und M) zu finden.

Im $\triangle M_1 J C$ ist $\sphericalangle J M_1 C = \beta$ (Conjugationswinkel) und $\sphericalangle M_1 J C = 180^\circ - (\alpha + \beta)$.

Ferner ist Seite $M_1 C = a$.

Nach dem Sinustheorem ist also

$$b : a = \sin \beta : \sin [180^\circ - (\alpha + \beta)],$$

aber

$$\sin [180^\circ - (\alpha + \beta)] = \sin (\alpha + \beta); \text{ also ist } b = a \cdot \frac{\sin \beta}{\sin (\alpha + \beta)}.$$

Geschehen nun weitere Excursionen im Gelenksystem, wobei die Winkel aber α_1 und β_1 sind, dann erhält man einen ähnlichen Ausdruck für b_1 :

$$b_1 = a \cdot \frac{\sin \beta_1}{\sin (\alpha_1 + \beta_1)}.$$

Der Unterschied in der Grösse zwischen b und b_1 ist s ,

$$s = b - b_1 = a \left[\frac{\sin \beta}{\sin (\alpha + \beta)} - \frac{\sin \beta_1}{\sin (\alpha_1 + \beta_1)} \right],$$

aber $s = 0$. (Siehe oben.)

Hieraus folgt, dass entweder:

$$a = 0,$$

oder

$$\frac{\sin \beta}{\sin (\alpha + \beta)} - \frac{\sin \beta_1}{\sin (\alpha_1 + \beta_1)} = 0.$$

woraus hervorgeht:

$$\frac{\sin \beta}{\sin \beta_1} = \frac{\sin (\alpha + \beta)}{\sin (\alpha_1 + \beta_1)}.$$

Die Beweglichkeit des in Rede stehenden Gelenkes ist indess der Art begrenzt, dass dieser letztere Ausdruck in keinem der untersuchten Fälle satisfirt wird. (Siehe Tab. I.)

Daher ist, wenn $s = 0$, auch $a = 0$.

Dies bedeutet, dass, wenn bei Excursionen in einem doppelten Gelenk — mit genannter Begrenzung in den Bewegungen — die Projectionen einer gegebenen Normalen zu der Rotationsfläche des distalen Gelenksegmentes auf einem Plane parallel zum Bewegungsplan des Gelenkes während drei oder mehrerer Pausen der Bewegung einander in einem Punkte schneiden, die Bewegungen in beiden Gelenken um eine gemeinsame Axe erfolgt, welche durch den Schnidepunkt der Projectionen der gegebenen Normalen läuft. Da die Bewegung der beiden Gelenksegmente

um eine gemeinsame Axe stattfindet, folgt hieraus, dass man die Bewegung des distalen Gelenksegmentes so betrachten kann, als ob es sich mit einem einfachen Gelenk direct gegen den fixirten Theil des Gelenksystems bewegte.

Jeder mit dem distalen Gelenksegmente fest vereinigte Punkt beschreibt bei der Bewegung desselben einen Kreisbogen um das Rotationscentrum.¹ Eine Linie, gezogen zwischen zwei mit diesem Segment fest verbundenen Punkten, bleibt also während der ganzen Bewegung Tangente zu einem Kreisbogen mit dem Bewegungscentrum des Gelenkes als Mittelpunkt. Wenn man während zwei oder mehr Pausen der Bewegung Projectionen einer solchen Linie macht, wird man im Mittelpunkte eines der ihnen gemeinsamen Tangentenkreise die Lage des Rotationscentrums für das Gelenkssystem finden, und verlegt man die Linie in genügende Entfernung von dem Punkte, wo man zu Folge der Curvatur der Gelenkflächen annehmen kann, dass dort der gemeinsame Mittelpunkt liegt, so bildet es keine Schwierigkeit, unter den Tangentenkreisen den richtigen zu wählen.

Ist der gefundene Punkt das Rotationscentrum für das ganze Gelenkssystem, so wird er — wie gezeigt ist — im Laufe der Bewegung unverrückt bleiben, und die Projectionen von einer durch denselben laufenden, im Verhältniss zu dem distalen Gelenksegment fixen Linie werden also während aller Pausen der Bewegung in diesem Punkte einander schneiden. Aus der angeführten Deduction geht auch unmittelbar hervor, dass, wenn es verschiedene Bewegungscentren giebt, nicht die Projectionen von den Normalen der distalen Gelenkfläche in den verschiedenen Stellungen des Gelenkes einander in einem Punkte schneiden sollen, wenn die Excursionen in dem Gelenke in oben genannter Weise begrenzt sind.

III. Die ulnare und die radiale Abduction der Hand.

Bisher veröffentlichte Röntgenuntersuchungen.²

Wie erwähnt, haben die Autoren, welche sich mit Röntgenstudien, betreffend die Abductionsbewegungen der Hand, beschäftigen, wesent-

¹ „Rotationscentrum“ bezeichnet hier den Schneidepunkt der Bewegungsaxe mit der Bewegungsebene bezw. deren orthogonale Projection auf derselben Ebene.

² Im August 1901 erschien die Abhandlung des Herrn Prof. Rudolf Fick: „*Ueber die Bewegungen in den Handgelenken*“, Abhandl. d. math.-phys. Cl. d. Königl. Sächs. Ges. d. Wiss. Bd. XXVI. Nr. 6. S. 419 bis 468. Leipzig 1901. In dieser Arbeit erwähnt der Verfasser die Inauguraldissertation des Herrn Dr. H. J. Lyklama & Nijeholt: „*De onderlinge Verhouding der Beenderen van den Voorarm en van den Handwortel by verschillende Standen van der Hand*“. Leiden 1900, welche mir vorher nicht bekannt war. Da ich meinen Aufsatz schon im März 1901 abgeschlossen hatte, sind die Resultate dieser Forscher in demselben nicht erwähnt worden, wie sie auch meine Arbeit nicht haben beeinflussen können.

lich verschiedene Resultate erhalten sowohl hinsichtlich des Grades, in welchem jedes der beiden Gelenke an den Bewegungen theilhaftig ist, wie hinsichtlich der Stellungsveränderungen der einzelnen Knochen bei Ausführung der Abductionsbewegungen.

Die Röntgogramme von T. H. Bryce (1) sind durch Ungleichförmigkeit bei der Röntgographirung, sowie durch die Unvollkommenheit der damaligen Technik (Frühjahr 1896) nachtheilig beeinflusst worden. Die folgenden Schlüsse des Verfassers aus seinem Material scheinen mir doch berechtigt zu sein: Die Carpalreihen sind lockerer an einander gefügt, als gewöhnlich angenommen worden war. Bei gestreckter Hand steht das Hamatum nicht in Contact mit dem Lunatum, welches sowohl gegen den Radius, als gegen den Discus ruht. Das Triquetrum berührt dabei den Discus nicht. Sowohl bei ulnarer, wie bei radialer Abduction findet eine seitliche Excursion im Intercarpalgelenke statt, bei ulnarer Abduction auch im Radiocarpalgelenke. Das Naviculare rotirt bei radialer Abduction volarwärts, bei ulnarer dorsalwärts. Bei radialer Abduction wird der distale Theil der ulnaren Gelenkfläche des Hamatum entblösst; bei ulnarer Abduction klappt der Spalt zwischen Multangula und Naviculare.

E. Zucker кандl (2) ist der Ansicht, dass die Abductionsbewegungen zum allergrössten Theil im Radiocarpalgelenk ausgeführt werden, welches sowohl an der ulnaren als radialen Abduction theilnimmt. Das Intercarpalgelenk dagegen besitzt weit geringere Beweglichkeit, nimmt aber je nach seiner Excursionsfähigkeit nach beiden Seiten an der Bewegung theil.

H. Virchow (3 bis 5), welcher X-Aufnahmen von der Hand in Abductionsstellungen von der dorsalen wie volaren Handfläche und von dem radialen Rande der Hand studirt, aber nur Flächenansichten publicirt hat, verdanken wir eine sehr gründliche Beschreibung der Veränderungen in der Handwurzel bei den Abductionsbewegungen. Die Röntgogramme hat er mit „Gefrierskelettpräparaten“ verglichen.

Hinsichtlich der Excursionsfähigkeit der beiden Gelenke ist er zu einem von Zucker кандl abweichenden Resultat gekommen, indem er die Bewegung in beide Gelenke verlegt, hält aber dafür, dass das Intercarpalgelenk grössere Beweglichkeit hat und sowohl an der ulnaren, wie radialen Abduction theilnimmt, während das Radiocarpalgelenk fast ausschliesslich an der ulnaren Abduction theilnimmt, so dass die Verschiebung des Lunatum gegen den Radius bei der radialen Abduction fast = 0 ist (4).

Das Maass, mit welchem jedes der beiden Handgelenke an den Bewegungen theilhaftig sei, giebt Virchow dadurch an, dass er in

Millimetern sowohl die Verschiebungen zwischen den Carpalknochen unter einander, wie den Abstand zwischen den Unterarmknochen und dem Metacarpus angiebt (3).

Neben der Hauptbewegung zur ulnaren und radialen Seite beschreibt Virchow zwei Mitbewegungen, die bei einer Abduction zwangsmässig eintreten und welche aus der Mechanik der Gelenke erklärt werden müssen. Es sind dies eine flexorische Bewegung in dem proximalen Gelenke und eine „supinatorische Biegung“ der Knochen des radialen Carpalrandes. „Ob auch die distale Reihe eine flexorische Mitbewegung ausführt oder nicht, ist nicht ganz sicher zu entscheiden“. „Jedenfalls darf man sagen, falls eine derartige Bewegung vorliegt, so ist sie ganz unbedeutend und an Ausdehnung mit der Bewegung im proximalen Gelenk nicht zu vergleichen“.¹ (5: S. 469 und 470.)

Ueber Virchow's Beobachtungen betreffs der Stellungsänderungen der einzelnen Knochen erlaube ich mir, seine Zusammenfassung (5: S. 479 und 480) zu citiren.

Ulnare Abduction. „Das Metacarpale V und IV werden gegen das Hamatum angepresst, hierdurch der Spalt zwischen Metacarpale V und Hamatum auch an der ulnaren Seite geschlossen. Das Hamatum, gegen das Triquetrum gedrückt, gleitet an demselben, und der vorher an der ulnaren Seite klaffende Spalt zwischen beiden kommt auf diese Weise zum Verschluss. Da aber die Fläche auf dem Hamatum schraubenförmig gestaltet ist, so wird gleichzeitig dem Triquetrum eine drehende Bewegung im Sinne der Dorsalflexion aufgezwungen.“

„Das mit der Mittelhand und dem Hamatum fest verbundene Capitatum wird gegen das Lunatum und Naviculare angestemmt, jedoch durch den Widerstand dieser Knochen gehindert, eine wesentliche seitliche Bewegung auszuführen“. (Verschiebung = 3^{mm}. 4).

„Durch den Widerstand des Capitatum wird der radiale Abschnitt der Mittelhand in distaler Richtung abgehoben² und die Multangula in gleicher Richtung verzogen. Da aber diese Knochen mit der volaren Kante und mit der Tuberositas des Naviculare fest verbunden sind, so wird das letztere gezwungen, dieser Bewegung zu folgen und eine drehende Bewegung im Sinne der Dorsalflexion auszuführen. (22-5°. 4.) Das Lunatum, zwischen Triquetrum und Naviculare eingeschaltet und mit beiden fest verbunden, macht die dorsal-flexorische Bewegung mit.“

Radiale Abduction. „Die mit der Mittelhand fest verbundenen

¹ Von mir hervorgehoben.

² Von mir hervorgehoben.

Multangula werden gegen das Naviculare angedrückt und dieses nicht nur zu einer Verschiebung am Radius, sondern gleichzeitig auch zu einer Drehung im Sinne der Volarflexion gezwungen“. (22.5°. 4.)

„Das mit der Mittelhand fest verbundene Capitatum erleidet durch die abductorische Bewegung der ersteren eine Stellungsänderung, wodurch der Kopf desselben am Lunatum ulnarwärts vergeitet.“ (7 mm. 4.)

„Das Hamatum ist gezwungen, dieser Bewegung zu folgen und schiebt sich am Triquetrum ulnarwärts, wobei es den Contact mit dem Lunatum gänzlich aufgibt und die ganze ulnare Hälfte seiner proximalen Gelenkfläche entblösst. Am Triquetrum erzeugt das Gleiten auf der schraubenförmigen Fläche des Hamatum eine drehende Bewegung im Sinne der Volarflexion und die immerhin feste Verbindung mit dem Capitatum und dem Hamatum ein Vergleiten am Lunatum in distaler Richtung. Das Lunatum, an Naviculare und Triquetrum befestigt, macht die Volarflexion mit“.

Beim Uebergehen von radialer zu ulnarer Abduction „schiebt sich das Bild des Multangulum minus theilweise über das des Capitatum; das des Multangulum majus schiebt sich stärker als vorher über das des Minus und greift sogar auf das Capitatum über“ — auch das Kahnbein theilhaftig sich an dieser Bewegung —; „es wird sich darum handeln, zu entscheiden, ob dies eine Bewegung der Multangula ist, welcher das Kahnbein folgen muss, oder eine Bewegung des Kahnbeins, welcher die Multangula folgen müssen. Das letztere ist wohl das Wahrscheinlichere“.

Die Untersuchung von A. Bühler (6) ergab, im Widerspruche zu den beiden anderen Forschern, dass eine Bewegung im Radiocarpalgelenk als Ganzem im Sinne einer Seitenverschiebung, wenn überhaupt, nur in geringem Maasse stattfindet und für die Handbewegungen als solche bei radialer und ulnarer Adduction von untergeordneter Bedeutung sei. Die Bewegungen in radio-ulnarer Ebene vollziehen sich der Hauptsache nach in der Articulatio intercarpea.

Er hat keine supinatorischen Mitbewegungen der distalen Carpalreihe im Sinne Virchow's erwähnt, obgleich seine Bilder eine solche simuliren können, und zwar in umgekehrter Art, als sie dieser Forscher geschildert hat, indem hier mit ulnarer Abduction eine supinatorische, mit radialer Abduction eine pronatorische Biegung verbunden zu sein scheint.

Die flexorischen Mitbewegungen des Naviculare hat er beschrieben, desgleichen eine Verschiebung des Triquetrum in volarer Richtung bei ulnarer, in dorsaler Richtung bei radialer Abduction.

Der ulnare Endpunkt des Naviculare wie der radiale Endpunkt des Lunatum sollen sich nicht gegen den Radius verschieben. Das Lunatum im Ganzen soll keine Seitenbewegung gegen den Radius ausführen, sondern sich nur um die Längsaxe drehen. Seine Bilder zeigen auch bei ulnarer Abduction ein schmales Bild des Lunatum, dessen ulnare Kante nicht ausser den Radius ragt; bei radialer Abduction wird das Bild des Lunatum beinahe um das Doppelte breiter, dadurch, dass die ulnare Kante ausser den Radius gerückt ist, die radiale Kante dagegen fest stehen zu bleiben scheint. — Die Form des Beines ist auch sehr verändert. Eine geringe Verschiebung des Lunatum und Triquetrum bei ulnarer Abduction „geschieht nur, um dem ulnaren Theil der zweiten Carpalreihe Platz zu machen.“

Eigene Beobachtungen.

Bei der Wahl des Materials zum Studium der Abductionsbewegungen der Hand habe ich versucht, zur Röntgographirung solche Personen zu erhalten, deren Hände sich durch verschiedene Arbeitsarten in verschiedenen Richtungen ausgebildet haben. Es ist mir gelungen, als Repräsentantin für eine durch specielle Uebung äusserst bewegliche Hand die rechte Hand einer Pianistin (32 Jahre), radiographiren zu dürfen. Den entgegengesetzten Typus — ein Handgelenk, das durch kunstlose, schwere Arbeit grosse Festigkeit erhalten hat, aber nur geringe Beweglichkeit besitzt — habe ich bei einem äusserst grobgliedrigen Steinarbeiter (21 Jahre) gefunden. Ausserdem habe ich Radiographien von zwei 24jährigen Medicinern aufgenommen, von denen wir annehmen können, dass sie Handwurzeln mit normaler Beweglichkeit haben. Endlich habe ich auch die Hand eines 10jährigen Knaben röntgraphirt.

Es wäre von grossem Interesse gewesen, eine Anzahl Repräsentanten für ungleiche Beschäftigungen zu erhalten, theils aber stösst dies auf Schwierigkeiten, Personen zu finden, welche geneigt sind, sich der recht beschwerlichen Anordnung bei der Röntgographirung zu unterwerfen, theils ist die Bearbeitung jedes Falles eine so zeitraubende Arbeit, dass meine Zeit es nicht erlaubte, ein grösseres Material zu untersuchen als das vorliegende.

1. Projection der Axe der Abductionsbewegungen in dem Radiocarpal- und dem Intercarpalgelenke.

Bei Vergleich zwischen den durchgepausten Röntogrammen von den Flächenansichten der Abductionsstellungen ist es ein Umstand,

welcher bald in die Augen fällt. Das Capitatum und das mit demselben fest verbundene Metacarpale III haben während aller Pausen der Bewegung so gleiche Projectionen gegeben, dass ihre Contouren, obwohl nicht exact congruent, doch mit so kleinen Abweichungen zusammenfallen, dass es möglich ist, die Bilder von diesen Knochen auf den verschiedenen Radiogrammen¹ genau über einander einzupassen. Auch der Radius hat zu Folge der Anordnung bei der Röntgographirung während der Bewegungsreihe gleiche Projectionen gegeben.

Diese beiden Umstände geben uns ein werthvolles Mittel, die Gesetze für die Abductionsbewegungen des Handgelenkes kennen zu lernen.

Hier liegt nämlich ein doppeltes Gelenk vor, welches seinem Haupttypus nach von demselben Bau ist wie das in Abschn. II behandelte Gelenksystem. Weil das proximale Gelenksegment, der Radius, fixirt gewesen ist und darum dasselbe Bild gegeben hat, können wir durch Einpassen der durchgepausten Bilder über ein Bild in der Reihe, so dass die Contouren des Radius auf den verschiedenen Röntgogrammen einander decken, auf einem Bilde Projectionen von den beiden anderen Gelenksegmenten in deren Stellung zum Radius während der Bewegungspausen erhalten.

Nun hat indess auch das distale Gelenksegment, das Capitatum, im Verlauf der Bewegung correspondirende Projectionen gegeben. Das Mittelsegment, das Lunatum, hat dagegen seine Stellung zum Plane der Hauptbewegung nicht beibehalten und darum auch während des Verlaufs der Bewegung keine gleichen Projectionen gegeben. Wenn dies der Fall gewesen wäre, hätte man die Bewegung bei jedem Gelenk für sich untersuchen können. Nun muss man durch das Studium der Bewegung des Capitatum im Verhältniss zum Radius von den Gesetzen für die Bewegung des Gelenksystems Kenntniss zu erlangen suchen.

Auf ein Röntgogramm von einer Handstellung (Taf. V Fig. 1) wird eine Linie (*q*) einige Centimeter distal vom proximalen Ende des Capitatum aufgetragen. Ueber dieses Röntgogramm werden nun nach einander die zu derselben Reihe gehörenden Bilder eingepasst, so dass die Contouren von Capitatum und Metacarpale III auf den verschiedenen Bildern einander decken, und auf sämtliche wird eine Linie mit identisch gleicher Lage zum Projectionsbild des Capitatum wie Linie *q* gezeichnet. Auf dem Bilde von einer Handstellung (Taf. V Fig. 2) werden nun wieder nach einander die übrigen Röntgogramme

¹ Im Folgenden nenne ich der Kürze wegen die Pauscopien der Röntgogramme auf durchscheinendem Papier nur Röntgogramme oder Radiogramme.

eingepasst, so dass die Bilder des Radius einander decken, und die Lage, welche die im Verhältniss zum Capitatum fixe Linie q zum Radius während der verschiedenen Pausen der Abductionsbewegung eingenommen hat, wird auf dieses Bild gezeichnet.

Hierdurch erhält man auf ein Bild die verschiedenen Stellungen im Verhältniss zum Radius (q_1 , q_2 u. s. w.), welche eine gewisse, in ihrer Stellung zum Capitatum fixe Linie während der Bewegung eingenommen hat.

Wenn das Capitatum um eine feste Axe sich gegen den Radius bewegt hat, sollen diese Linien Tangenten von einem Kreisbogen mit der Projection dieser Axe als Mittelpunkt sein. S. Abschn. II.

Unter den Kreisen, welche alle die auf einem Bilde gezogenen Linien tangiren, wird nun der aufgesucht, dessen Mittelpunkt seine Lage zwischen den betreffenden Linien und dem distalen Gelenke hat, weil die Entfernung von der Linie q bis zum distalen Gelenke so gross gewählt worden ist, dass der Krümmungshalbmesser für die proximale Gelenkfläche des Capitatum kleiner als diese Entfernung sein muss.

Der Mittelpunkt für diesen Tangentenkreis (*tg* Taf. V Fig. 2) ist der Punkt M_2 .

Dieser Punkt ist so gelegen, dass er den Mittelpunkt für die proximale Gelenkfläche und für den proximalen Theil der radialen Fläche des Capitatum zu bilden scheint, so wie diese sich auf den Röntgogrammen darstellt.

Um ferner die Eigenschaften des Punktes M_2 zu untersuchen, wird Linie 2 durch denselben gezogen. Diese Linie, welche, sofern M wirklich der Mittelpunkt für die Projection der proximalen Fläche des Capitatum auf dem Frontalplane ist, eine Normale zu dieser bildet, wird auf sämtliche zu dieser Reihe gehörende Röntgogramme auf die Weise gezogen, dass sie so über einander eingepasst werden, dass die Contouren von Capitatum und Metacarpale III zusammenfallen. Die verschiedenen Lagen (1, 2, 3 u. s. w.) der fixen Normale zum Radius im Laufe der Bewegung werden auf ein Bild (Taf. V Fig. 3) gezeichnet, und zwar unter Einpassung der übrigen Röntgogramme über dieses Bild, so dass die Contour des Radius mit derselben Contour auf den anderen Bildern zusammenfällt.

Es zeigt sich dann, dass die Linien 1, 2, 3 u. s. w. einander in einem Punkte (M , Taf. V Fig. 3) schneiden.

Durch das Einpassen der auf Taf. V Figg. 2 u. 3 wiedergegebenen Radiogramme über einander, so dass die Bilder des Capitatum und Metacarpale III einander decken, findet man, dass die Punkte M_2 und M zusammenfallen. Der Punkt M auf dem Capitatum wird auf

den Radiogrammen in der Serie besonders bezeichnet. Legt man nun die Radiogramme über einander, so dass die Bilder des Radius einander decken, so findet man, dass auch nun die Punkte M_1 , M_2 , M_3 u. s. w. zusammenfallen, d. h. dass der gefundene Punkt M auf dem Projectionsbilde des Capitatum während der ganzen Abductionsbewegung unbeweglich bleibt. Hieraus geht hervor (siehe Abschn. II), dass durch diesen Punkt die Axe für die Abductionsbewegungen im Radiocarpal- wie im Intercarpalgelenk verläuft.

Das Capitatum bewegt sich deshalb bei den Abductionsbewegungen im Verhältniss zum Radius, als ob es mit einem exacten, einfachen Gelenk direct gegen diesen Knochen rotirte.

Dass die Abductionsbewegungen im Radiocarpal- wie Intercarpalgelenk um sagittale Axen ausgeführt werden und nicht das Resultat einer Combination von Bewegungen um schiefe Axen sein können, die sich in ihrer Richtung mehr dem Frontal- als dem Sagittalplane¹ näherten, ist, wie H. Virchow betont hat, durch die grossen Verschiebungen in radio-ulnarer Richtung bewiesen, die von den Bildern der Knochen beider Reihen ausgeführt werden.

Ob die Axen der beiden Gelenke rein sagittal verlaufen, d. h. ob sie eine gemeinsame sagittale Axe haben, oder ob es zwei Axen giebt, die einen sehr kleinen Winkel mit dem Sagittalplane bilden und einander in dem gemeinsamen Rotationscentrum² schneiden, das ist auf den Röntgogrammen unmöglich sicher zu entscheiden. Die Hauptsache ist indess die, dass die Abductionsbewegungen in beiden Gelenken um eine fixe Axe ausgeführt werden, welche in sagittaler oder annähernd sagittaler Richtung durch ein für die beiden Gelenke gemeinsames Rotationscentrum läuft.

Die Figuren 1, 2, 3 auf Taf. V stellen Röntgogramme von Fall IV, meiner eigenen linken Hand, vor, die Rückseite nach der Platte gewendet. Die Röntgogramme, welche von Figg. 1 u. 2 Taf. V (Fall IV b) repräsentirt sind, wurden während einer Sitzung auf-

¹ Bei Besprechung der Bewegungen der Hand bezeichne ich der Kürze wegen eine Ebene, die in radio-ulnarer Richtung durch Hand und Vorderarm verlegt gedacht wird, als Frontalplan der Hand bzw. des Vorderarms, und eine gegen diesen Plan senkrechte, bei gestreckter Hand in der Längsrichtung der Hand und des Vorderarms verlaufende Ebene benenne ich Sagittalplan der Hand bzw. des Vorderarms.

² Den Punkt auf dem Projectionsbilde eines Knochens, welcher die Projection von der Rotationsaxe für ein gewisses Gelenk auszeichnet, nenne ich im Folgenden der Kürze wegen „Rotationscentrum“.

genommen, in welcher nur diese zwei Röntgogramme aufgenommen wurden, damit nicht, während der Röntgographirung einer dazwischen liegenden Stellung, Hand oder Arm gerollt werden sollte. Die ulnare und die radiale Abduction sind nicht weiter getrieben, als dass die Bewegung ohne Anstrengung ausgeführt werden konnte, um nicht den Arm in seiner Lage zu verrücken. Diese Röntgogramme zeigen auch ausserordentlich² gut übereinstimmende Bilder von sowohl den Unterarmknochen, als von dem Capitatum und Metacarpale III.

In Taf. V Fig. 4 sind die beiden Bilder der Vorderarmknochen von Taf. V Figg. 1 u. 2 über einander gezeichnet, das eine mit punktierten, das andere mit ganz ausgezogenen Contouren. Man sieht, wie der Radius und die Ulna sowohl jedes für sich fast exact gleiche Contouren gegeben hat, als sie ihre Stellung zu einander beibehalten haben! Das Capitatium und Metacarpale III haben auch auf den beiden Röntgogrammen zusammenfallende Bilder gegeben.

Das Röntgogramm, welches in Fig. 3 Taf. V wiedergegeben ist, gehört zu einer Röntgogrammreihe (Fall IV *a*) von derselben Hand wie Figg. 1 u. 2 Taf. V, aufgenommen mit denselben Röntgenanordnungen, nur dass die distale Hälfte der Mittelhand hierbei eingegipst war. Bei dieser Radiographirung wurden fünf Radiogramme von verschiedenen Pausen der Abductionsbewegung aufgenommen. Die radiale und ulnare Abduction wurden nun so weit getrieben, als sie unter Anwendung der eigenen Musculatur des Armes getrieben werden konnten, wobei eine 8° grössere ulnare Abduction und 6° grössere radiale Abduction als in Fall IV *b* erreicht wurde. In den vier radialen Stellungen gelang es, gleiche Bilder vom Radius zu erhalten und, obgleich die Hand in geringem Grade um seine Längsaxe rotirt hatte, so ähnliche Bilder vom Capitatium und Metacarpale III zu bekommen, dass analoge Punkte auf dessen Projectionsbilde in den verschiedenen Stellungen genau gekennzeichnet werden konnten. Ein gewisser Punkt (Taf. V Fig. 3) — genau entsprechend dem Punkte *M* in Fall IV *b* — auf dem Capitatium bleibt während der Abductionsbewegung unverändert im Verhältniss zu den Projectionsbildern von sowohl dem Capitatium als dem Radius.

Auf dem Röntgogramme der extremen ulnaren Abductionsstellung im Falle IV *a* haben der Radius und das Capitatium Bilder gegeben, welche von den Bildern dieser Knochen auf den übrigen Röntgogrammen in derselben Serie sehr unbedeutend abweichen, aber ein auf dem Projectionsbilde des Capitatium mit dem Punkte *M* auf den übrigen Röntgogrammen analog belegener Punkt ist um etwa 1^{mm} in radio-distaler Richtung von der Lage verschoben, die er auf den übrigen

Röntgogrammen in der Serie zum Radius einnimmt. Dies könnte darauf deuten, dass während der letzten 8° der ulnaren Abduction beide oder eines von den Carpalgelenken die Axe seiner Bewegung geändert haben.

Indess hat die Hand beim Uebergange zur extremen ulnaren Abductionsstellung in recht hohem Grade in pronatorischer Richtung rotirt, was sich durch Contourveränderungen in den Randpartien der beiden Carpalreihen zu erkennen giebt. Dadurch dürfte auch das Projectionsbild des Capitatum verschoben worden sein.

In Fall II a, wo während der letzten 18° der ulnaren Abduction 12° der Bewegung im Radiocarpalgelenke ausgeführt worden sind, haben das Capitatum und die Vorderarmknochen dieselbe Contour bewahrt und das Capitatum sich um eine feste Axe bewegt. Ebenso verhält es sich in Fall I, bei welchem während der letzten 16° der ulnaren Abduction 7° der Bewegung im Radiocarpalgelenk ausgeführt worden sind, und in Fall III, wo während einer ulnaren Abduction von 21° eine Excursion von 9° im Radiocarpalgelenke erfolgt ist.

Auch während extremer ulnarer Abduction mit grosser Excursion im Radiocarpalgelenke haben sich beide Gelenke in diesen Fällen um ein festes Rotationscentrum bewegt. Die in Fall IV a während der letzten 8° der ulnaren Abduction auf dem Röntgogramme hervortretende Veränderung der Lage für die Axe des Radiocarpalgelenkes bei der Abductionsbewegung leitet sich deshalb wahrscheinlich von einer durch Rollung der Hand hervorgerufenen Verschiebung des Projectionsbildes des Capitatum her. Die Möglichkeit ist doch nicht ausgeschlossen, dass die Hand bei besonders forcirter Abduction dazu gebracht werden kann, in beiden oder einem der Gelenke um neue Axen zu rotiren.

Ogleich die geniale Henke'sche Theorie von zwei schrägen Axen, um welche durch Combinationen sowohl Flexions- als Abductionsbewegungen ausgeführt werden, in der Litteratur die am allgemeinsten angenommene ist, so existirt doch eine Untersuchung, die, bevor noch die Röntgenstrahlen Aufklärung gaben, es wahrscheinlich macht, dass die Abductionsbewegungen in beiden Gelenken um eine durch das Capitulum Capitati laufende sagittale Axe ausgeführt werden. In ihren bewundernswerthen „Untersuchungen über die Gelenke des menschlichen Armes“ berichten nämlich W. Braune und O. Fischer über eine Versuchsreihe, wobei bei einem Vorderarm, dessen Radius so fixirt war, dass die Handfläche eine horizontale Lage erhielt, nach Freipräpariren der Kapsel dünne Holzstifte, an denen ein sehr dünner

Draht befestigt wurde, einer in das Lunatum, ein zweiter in das Capitatum mit gewissen Cautelen eingetrieben wurden. Die Projectionen der Spitze der Drähte auf die Horizontalebene wurden während der Bewegung registriert.

„Die Spitzen dieser beiden Drähte beschreiben während der Radial-Ulnarflexion in ihren Projectionen auf die Horizontalebene je einen Kreisbogen¹, dessen Mittelpunkt im Innern des Köpfchens des Capitatum liegt“ (8: S. 126).

Durch die von mir gemachte Röntgenuntersuchung wird, wie gezeigt, die Richtigkeit dieser Beobachtungen vollständig bestätigt und ein Zeugniß abgelegt, mit welchem ausserordentlichen Geschick diese schwierige Untersuchung ausgeführt worden sein muss.

2. Bestimmung der Betheiligung des Radiocarpal- und des Intercarpalgelenkes an den Abductionsbewegungen.

Der Nachweis auf den Röntgogrammen von dem Rotationscentrum für das Radiocarpal- und das Intercarpalgelenk bei den Abductionsbewegungen ist nicht nur durch den Einblick in den Mechanismus des Handgelenkes, der dadurch gewonnen wird, von Bedeutung. Dadurch wird auch ermöglicht, auf den Röntgogrammen die Excursionen der Gelenke in Graden eines Kreisbogens zu messen und so einen für alle Fälle vergleichbaren Ausdruck für die Theilnahme der beiden Gelenke an der Bewegung des Gelenksystems zu erhalten.

Bei dieser Messung bin ich in folgender Weise vorgegangen. Der Ausschlag der Excursionen des ganzen Handgelenkes zwischen jeder Pause in der Bewegung wird durch Messen der Abweichungen zwischen den, wie oben beschrieben, auf ein Bild gezeichneten Stellungen (1, 2, 3 u. s. w. Taf. V Fig. 3) bestimmt, die eine in ihrer Lage zum Capitatum bestimmte Normale zu seiner proximalen Gelenkfläche während des Laufes der Bewegung im Verhältniss zum Radius eingenommen hat.

Um die Bewegung des Intercarpalgelenkes zu bestimmen, wird über eines der Röntgogramme von den übrigen zur Reihe gehörenden Röntgogrammen das eine nach dem anderen eingepasst, so dass die ulnaren und radialen Contouren des Körpers des Lunatum und der distale Theil der nach dem Lunatum gekehrten Contour des Naviculare auf dem einen Bilde mit den entsprechenden Contouren auf dem anderen Bilde zusammen fallen, wobei auch zu gleicher Zeit die

¹ Von mir hervorgehoben.

Rotationscentren (M_1 , M_2 u. s. w.) zusammenfallen (Taf. V Fig. 7). Die genannten Orientirungsstellen sind zur Einstellung der Bilder der proximalen Carpalreihe über einander gewählt worden, weil das Projectionsbild des Lunatumkörpers, obgleich dessen proximale Contour durch die Dorso-Volarflexionen geändert wird, wenn die Hand nicht gedreht wird, seine Breite beibehält. Durch die bei der Einpassung auf das Naviculare genommene Rücksicht wird die Messung sicherer gemacht.

Die durch das Rotationscentrum auf dem in Taf. V Fig. 1 wiedergegebenen Röntgogramme laufende Linie 1 nimmt im Verhältniss zur proximalen Carpalreihe die Lage I ein. Auf sämtliche Bilder derselben Reihe werden nun die im Verhältniss zur proximalen Carpalreihe der Serie der Linie I analog gelegenen Linien II (Taf. V Fig. 2) und VII (Taf. V Fig. 3) u. s. w. gezogen.

Die Abweichungen zwischen diesen Linien und die im Verhältniss zum Capitatum fixen Linien 1, 2, 3 u. s. w. geben nun direct die Excursionen in dem Frontalplane an, die im Intercarpalgelenke während der Bewegung zwischen den Handstellungen 1 und 2, 1 und 3, 1 und 4 u. s. w. ausgeführt worden sind, denn die im Verhältniss zur proximalen Carpalreihe fixe Linie ist so verlegt, dass sie bei der Handstellung 1 mit der in ihrer Lage zum Capitatum fixen Linie zusammenfällt.

Die Excursionen im Radiocarpalgelenke werden dadurch gemessen, dass die Bilder des Radius über einander placirt werden — wobei auch die Rotationscentren zusammenfallen — und die Abweichungen zwischen den Lagen (I und II Taf. V Fig. 4), die eine im Verhältniss zur proximalen Carpalreihe (Lunatum) fixe Linie in den verschiedenen Handstellungen zum Radius einnimmt, gemessen werden.

Die in den verschiedenen Röntgogrammen derselben Serie auf den Bildern des Capitatum und des Lunatum analog gelegten Linien können als Projectionen derjenigen Punkte des Capitatum wie des Lunatum betrachtet werden, die in einem gegebenen, durch die Rotationsaxe laufenden, senkrecht zur Projectionsebene stehenden Plane sich befinden, der folglich nicht während der Bewegung seine Neigung gegen die Projectionsebene ändert. Da die Antikathode in der Verlängerung der Rotationsaxe oder in deren nächster Nähe auf ziemlich grossen Abstand (40^{cm}) von der Platte eingestellt worden ist, kann man, ohne einen erwähnenswerthen Fehler zu begehen, behaupten, dass die Stellungenänderungen der auf den Bildern des Capitatum und des Lunatum gelegten Messlinien die Drehungen angeben, welche von den durch dieselben gelegten Ebenen ausgeführt werden, die durch die Bewegungs-

axe laufen, also senkrecht zur Bewegungsebene bleiben. Die Drehungen dieser Ebenen gerade geben von den seitlichen Bewegungen der ganzen betreffenden Knochen Aufschluss. Wenn das Capitatum und das Lunatum in derselben Serie exact congruente Contouren geliefert hätten, dann wären die gefundenen Zahlen absolut exact. Dies ist jedoch nicht der Fall. Die Bilder der genannten Knochen sind indess, wie ich dargethan habe, einander so gleich, dass man die gemessenen Winkel für sehr gute Annäherungswerthe von dem Grade der Bewegungen zu halten berechtigt ist.

Durch diese Messungen erhält man theils die totale Bewegung des Gelenksystems zwischen jeder Pause, theils die Excursion in dem Radiocarpal- und Intercarpalgelenke während desselben Abschnittes der Bewegung. Die Summe der Ausschläge beider Gelenke muss dann, wenn die Messung richtig ausgeführt ist und beide Gelenke wirklich um das gefundene Rotationscentrum rotiren, gleich der Bewegung des ganzen Gelenksystems sein. Dies ist auch der Fall, indem für alle Fälle die Summe der Excursionen in beiden Gelenken mit dem Ausschlage der Bewegung des ganzen Gelenksystems stimmt. Die Maasse für die Excursionen sind in ganzen Graden und in ganzen Procentzahlen angegeben. Das Resultat der Messungen ist in Tab. I angegeben.

Bei der Prüfung dieser Ziffern findet man, dass nicht nur die Beweglichkeit des gesammten Handgelenkes wechselt, sondern auch, dass das Verhältniss zwischen dem Beitrag des Radiocarpal- und Intercarpalgelenkes zur Bewegung für ungleiche Fälle sehr verschieden ist; ausserdem liegt das Bewegungsgebiet bei verschiedenen Individuen in verschiedenem Grade nach der ulnaren oder radialen Seite.

Diese individuellen Variationen dürften zum Theil die Meinungsverschiedenheit erklären, zu welcher die Autoren beim Röntgenstudium des Handgelenkes gekommen sind. Doch ist wohl A. Bühler's Ausschiessen der reinen seitlichen Bewegungen vom Radiocarpalgelenke grösstentheils durch irreführende Bilder des Lunatum hervorgerufen, worauf ich später noch zurückkommen will. Indessen giebt es Fälle (Fall IV und V), bei welchen das Radiocarpalgelenk verhältnissmässig geringe Beweglichkeit besitzt. Dass Zuckerkandl dem Intercarpalgelenke so geringe Beweglichkeit zuertheilt, beruht ohne Zweifel zum Theil auch auf misslungener Radiographirung, denn so ungleiche Bilder können nicht erhalten worden sein, wenn die Hand während der beiden Exponirungen ihre Neigung zur Platte und ihre Stellung zum Röntgenrohr annäherungsweise beibehalten hat.

Der von H. Virchow, dessen Röntgogramme am sorgfältigsten

aufgenommen und unter Vergleich mit den „Gefrierskeletpräparaten“ am richtigsten beschrieben worden sind, geschilderte Fall scheint sich, was die Theilnahme der beiden Gelenke betrifft, meinem Fall IV zu nähern.

Bei dem Versuche zu erforschen, ob trotz der bedeutenden Variationen, welche vorkommen, eine Regelmässigkeit im Verhältniss zwischen den Excursionen des Radiocarpal- und Intercarpalgelenkes zu finden wäre, habe ich während des Studiums der Abductionsbewegungen eine solche Lage der Knochen als Ausgangspunkt gewählt, dass die Längsaxe des Capitatum (die Linien 1, 2, 3 u. s. w. Taf. V Figg. 1 bis 3) mit der Richtung einer gegebenen, auf den Radius gezeichneten Linie *a* (Taf. V Fig. 3) zusammen fällt. Von dieser Lage berechne ich bei der Analyse der verschiedenen Fälle die ulnare und radiale Abduction.

Die Linie *a* ist so gelegt, dass sie die Mittelpunkte der Breiten-diameter der Speiche in gleicher Höhe mit der Mitte der Incisura ulnaris (Linie *b* Taf. V Fig. 3) und dem Breitendiameter des Radius (Linie *c* Taf. V Fig. 3) 2.5^{cm} mehr proximal verbindet. Deren Lage ist so gewählt, dass diese Linie in derselben Richtung wie die Rotationsaxe des Radius gehen würde, sofern es möglich ist, dieselbe auf den kurzen Theil des Radius aufzutragen, der auf den Röntgogrammen zu sehen ist. Der Grund, weshalb ich diese Ausgangslage gewählt habe und nicht von der bei der Röntgographirung eingenommenen Streckstellung ausgegangen bin, ist darin zu suchen, dass bei den während der Röntgographirung in den verschiedenen Fällen eingenommenen Streckstellungen die Stellung der Carpalknochen im Verhältniss zum Radius nicht immer gleich ist, weshalb die von der „Streckstellung“ der verschiedenen Fälle ausgeführten Bewegungen nicht analog sind. Durch die Legung eben beschriebener Linien erhält man dagegen eine Ausgangslage, welche, wenn auch nicht exact, doch für alle Fälle annähernd gleich ist, so dass man controliren kann, in wie weit die eingenommenen Streckstellungen einander entsprechen. Von dieser Ausgangslage kann auch eine mit den übrigen Fällen vergleichbare Bestimmung des Umfanges der ulnaren und radialen Abduction erfolgen, auch wenn bei der Radiographirung keine Streckstellung eingenommen worden ist.

Die während der Radiographirung eingenommenen Stellungen nenne ich, ausgehend von der Ulnarabduction, mit deren Nummer in der Serie.

Die gewählte Ausgangslage weicht in den Fällen II *b* und III nur 2° nach der radialen Seite von der Streckstellung ab.

In Fall IV ist die Abweichung von der Streckstellung (Stellung 4) 4° auch nach der radialen Seite. In diesen Fällen sind die Abweichungen zwischen den betreffenden Streckstellungen und der gewählten Ausgangslage so gering, dass die auf derselben Seite von der Streckstellung ausgeführten Bewegungen für analog und charakterisierend für die ulnare und radiale Abduction gehalten werden können. In Fall V ist die Abweichung von der Streckstellung (= Stellung 3) 5° nach der ulnaren Richtung, die Stellung 2 entspricht aber auf ungefähr 1° der gewählten Ausgangslage. In den Fällen II *a* wie I *a* und *b* giebt es keine Stellung, die sich weniger als 12° von der gewählten Ausgangslage befindet, weshalb die Bilder hier nur über das Verhalten der Gelenke während geringerer Momente der Bewegung und über das Maass, in welchem die beiden Gelenke an der ganzen Bewegung theilnehmen, Aufklärung geben.

Wie durch einen Vergleich der Figg. 1 und 2 mit Fig. 3 Taf. V hervorgeht, haben durch die Gleichförmigkeit in der Röntgenanordnung die Vorderarmknochen in Fall IV *a* nahezu dieselben Bilder wie in Fall IV *b* gegeben. Auch die Bilder des Capitatum und Metacarpale III und des Lunatum sind in den beiden Serien so übereinstimmend — bei Einstellung der Bilder des Capitatum und Metacarpale III auf den Röntgogrammen aus den beiden Serien über einander fallen die Punkte *M* zusammen — dass ich bei der Berechnung der Excursionen in den beiden Carpalgelenken bei Fall IV beide Serien zu einer habe zusammenschlagen können. Das Röntgogramm 1 (Taf. V Fig. 1) in Fall IV *b* ist hierbei als Röntgogramm 2 und Röntgogramm 2 (Taf. V Fig. 2) in demselben Falle als Röntgogramm 6 in der Serie Radiogramme bezeichnet, die durch Anwendung beider Fälle erhalten wird (= Fall IV in Tab. I).

In Fall V ist die Abduction in ulnarer Richtung nicht so weit als möglich ausgeführt worden, weil in der äussersten ulnaren Abductionsstellung Zittern eintrat, welches die Radiographirung unmöglich machte.

In den Serien I *b* und II *b* hat in Folge Rollung des Armes der Radius nicht gleiche Bilder gegeben. Das Rotationscentrum ist hier mit Hilfe von Serie I *a* und II *a* und der Curvatur der proximalen Gelenkfläche am Capitatum eingelegt worden. Nur für das Intercarpalgelenk haben in diesen Fällen die Excursionen selbständig annäherungsweise genau bestimmt werden können.

Die Theilnahme des Radiocarpalgelenkes an der Bewegung ist in diesen Fällen durch Subtraction des Ausschlages des Intercarpalgelenkes vom Ausschlage des ganzen Gelenksystems während desselben Theiles

der Bewegung gemessen worden. Die Uebereinstimmung im Endresultat der Messung, welche die Fälle I b und II b mit I a und II a zeigen, sprechen dafür, dass auch die Messung der ersteren richtig ausgeführt worden ist.

In der Tabelle sind die Fälle nach dem Grade der Theilnahme der beiden Gelenke an der Bewegung geordnet, so dass Fall I das Handgelenk repräsentirt, wo das Radiocarpalgelenk (= Gelenk I) im höchsten Grade an der Bewegung Theil nimmt, und die übrigen Fälle sind nach abnehmender Bewegung in Gelenk I eingeordnet, so dass in Fall V das Verhältniss zwischen der Bewegung des Radiocarpal- und Intercarpalgelenkes (= Gelenk II) am kleinsten ist.

Das Verhältniss zwischen der Theilnahme des Radiocarpal- und Intercarpalgelenkes an den Abductionsbewegungen der Hand scheint nicht mit der Grösse der Bewegung der ganzen Hand in Verbindung zu stehen, da bei Handgelenken, welche ungefähr ebenso grosse Bewegungen ausgeführt haben, z. B. Fall I (58°) und Fall IV (58°) wie Fall II (45°) und III (36°), das Verhältniss zwischen den Ausschlägen des Radiocarpal- und Intercarpalgelenkes ganz verschieden ist; Fall I 1:1, Fall IV 1:3, Fall II 1:1 und Fall III 1:2.

Dagegen scheint das Verhältniss zwischen der Theilnahme der beiden Gelenke an der Bewegung davon abhängig zu sein, ob das Gebiet für die Bewegung mehr nach der ulnaren oder der radialen Seite liegt. Dies wieder findet seine Erklärung darin, dass jedes Gelenk bei ulnarer und radialer Abduction in verschiedenem Grade in Anspruch genommen wird.

Prüfen wir zunächst die Theilnahme des Radiocarpal- und Intercarpalgelenkes an der Abductionsbewegung nach der ulnaren Seite, so zeigen:

Fall II b Gelenk I 17° , Gelenk II 15° ,
Fall IV Gelenk I 12° , Gelenk II 11° .

In diesen beiden Fällen, wo eine verhältnissmässig grosse Bewegung in ulnarer Richtung ausgeführt worden ist, ist also der Ausschlag des Radiocarpalgelenkes unbedeutend grösser als der des Intercarpalgelenkes.

In Fall III, wo die ganze ulnare Abduction 21° (19°) ist, nimmt Gelenk I mit 9° , Gelenk II mit 12° Theil, und in Fall V, wo nur eine 6° (5°) grosse ulnare Abduction ausgeführt ist, ist der Ausschlag des Gelenkes I 2° und des Gelenkes II 4° . —

In diesen Fällen, wo in ulnarer Richtung eine kleinere Bewegung ausgeführt worden ist, nimmt das Intercarpalgelenk in etwas höhe-

rem Grade als das Radiocarpalgelenk an der ulnaren Abduction der Hand Theil.

Bei der ulnaren Abduction scheinen also das Radiocarpal- und Intercarpalgelenk in ungefähr demselben Grade in Anspruch genommen zu werden. Bei kleineren Bewegungen aus der Streckstellung nach der ulnaren Richtung ist die Theilnahme des Intercarpalgelenkes etwas überwiegend, bei zunehmender ulnarer Abduction aber wird das Radiocarpalgelenk in steigendem Grade in Anspruch genommen.

Ein Zeichen davon ist auch das, dass in Fall IV während einer Bewegung von 10° in ulnarer Richtung von der Streckstellung aus das Radiocarpal- und Intercarpalgelenk mit 2° bzw. 8° Theil nehmen, während dagegen während der letzten 13° der ulnaren Abduction das Radiocarpalgelenk 10° der Bewegung ausführt.

In Fall II *a*, wo die ulnare Abduction 34° ist, macht Gelenk I während der letzten 18° der ulnaren Abduction doppelt so grosse Excursionen (12°) wie Gelenk II (6°), während in demselben Handgelenk (Fall II *b*) Gelenk I an 32° ulnarer Abduction mit 17° , Gelenk II mit 15° Theil nimmt. Gelenk I hat also während der ersten 14° der ulnaren Abduction eine kleinere Excursion (5°) gemacht als Gelenk II (9°).

Auch in Fall I ist die Bewegung des Radiocarpalgelenkes bei der ulnaren Abduction überwiegend, da während einer Bewegung von 46° , wovon 34° auf die ulnare Seite der Ausgangslage fallen, 24° der Bewegung in Gelenk I, 22° in Gelenk II ausgeführt werden; im Gegensatz aber zu dem, wie es sich in den übrigen Fällen verhält, hat hier Gelenk II während der letzten 16° der ulnaren Abduction ein unbedeutendes Uebergewicht, da in diesem Gelenke dann eine Bewegung von 9° ausgeführt wird.

An radialer Abduction nimmt das Radiocarpalgelenk in den Fällen II und V mit 4° Theil, während Gelenk II mit 9° bzw. 30° beiträgt. In Fall III ist bei der radialen Abduction die Excursion im Gelenk II 13° , im Gelenk I 2° . Während der ersten 17° der radialen Abduction trägt in Fall IV Gelenk II mit 15° , Gelenk I mit 2° bei; die darauf folgende Bewegung von 18° wird nur im Intercarpalgelenke ausgeführt. In Fall V erfolgt während der ersten 16° ein Excursion in Gelenk II von 14° , in Gelenk I von 2° , während der darauf folgenden 18° ist der Ausschlag in Gelenk II 16° , in Gelenk I 2° . — In Fall I, wo die ganze radiale Abduction 24° beträgt, werden von den letzten 12° 8° in Gelenk II und 4° in Gelenk I ausgeführt.

An der radialen Abduction betheiligen sich also beide Gelenke, das Intercarpalgelenk aber wird vorwiegend in Anspruch genommen,

so dass $\frac{3}{4}$ bis mehr als $\frac{9}{10}$ der Bewegung in diesem Gelenke ausgeführt werden. Mit zunehmender radialer Abduction scheint das Radiocarpalgelenk in immer geringerem Grade an der Bewegung Theil zu nehmen.

Da nun bei ulnarer Abduction die Betheiligung des Radiocarpal- und Intercarpalgelenkes an der Bewegung ungefähr gleich gross ist, bei radialer Abduction aber das Intercarpalgelenk in vorwiegendem Grade in Anspruch genommen wird, so muss das Verhältniss der Betheiligung beider Gelenke an der ganzen Abductionsbewegung davon abhängig sein, ob das Bewegungsgebiet mehr nach der ulnaren oder radialen Seite liegt. Wenn man in den verschiedenen Fällen den Zusammenhang zwischen der Lage des Bewegungsgebietes und der Betheiligung des Radiocarpalgelenkes an der Bewegung prüft, so zeigt es sich, dass in Fall IIa, wo 75 Procent der Abductionsbewegung auf der ulnaren Seite der Ausgangslage liegen, das Radiocarpalgelenk 49 Procent der Bewegung ausführt. In Fall IIb, wo 67 Procent der Bewegung auf die ulnare Seite von der Ausgangslage fallen, führt Gelenk I 47 Procent der Bewegung aus. In Fall III, wo 53 Procent des Bewegungsgebietes ulnar von der Ausgangslage fallen, kommen 31 Procent des Ausschlages auf Gelenk I. In Fall IV, wo 47 Procent der Bewegung ulnare Abduction sind, trägt Gelenk I mit 24 Procent von der Bewegung bei. In Fall V, wo nur 13 Procent der Bewegung nach der ulnaren Seite ausgeführt sind, ist die ganze Excursion des Radiocarpalgelenkes nur 15 Procent des Ausschlages des ganzen Handgelenkes.

In Fall I beträgt die ulnare Abduction 60 Procent der ganzen Bewegung, und das Radiocarpalgelenk führt die Hälfte der ganzen Excursion des Handgelenkes aus. Hier ist also das Verhältniss zwischen der Betheiligung der beiden Gelenke ungefähr dasselbe wie in Fall II, das Verhältniss zwischen ulnarer und radialer Abduction aber ist kleiner als in diesem Falle. Diese Abweichung beruht darauf, dass in Fall I Gelenk I in höherem Grade als in den übrigen Fällen an der radialen Abduction Theil nimmt. Die Erklärung hierzu liegt möglicher Weise in einer durch besondere Uebung erlangten höheren Beweglichkeit im Radiocarpalgelenke.

In Fall V scheint bei einer Bewegung von 6° zwischen den Stellungen 2 und 3 eine Excursion von 8° in Gelenk II erfolgt zu sein, während in Gelenk I eine Verschiebung von 2° nach entgegengesetzter Richtung stattgefunden hat. Diese Erscheinung dürfte durch die in diesem Falle eintretende Rotation innerhalb der proximalen Reihe hervorgerufen worden sein, welche eine irreführende Projection der Seitencontouren verursacht hat. Siehe S. 200!

Als allgemeine Regel bei den ulnaren und radialen Abductionsbewegungen tritt hervor, dass die ulnare Abduction in ungefähr gleichem Grade im Radiocarpal- und Intercarpalgelenk ausgeführt wird, doch so, dass das Verhältniss zwischen den Excursionen des Radiocarpal- und Intercarpalgelenkes bei zunehmender ulnarer Abduction etwas steigt, bei der Abnahme der ulnaren Abduction etwas sinkt.

Bei radialer Abduction wird der grössere Theil der Bewegung im Intercarpalgelenke ausgeführt, und bei zunehmender radialer Abduction nimmt das Radiocarpalgelenk in immer geringerem Grade an der Bewegung Theil.

Das Verhältniss zwischen der Betheiligung des Radiocarpal- und Intercarpalgelenkes an der ganzen Abductionsbewegung oder eines gewissen Momentes derselben ist also davon abhängig, in welchem Grade das Gebiet für die Bewegung nach der ulnaren oder radialen Seite liegt.

W. Braune und O. Fischer (8) haben an Leichen die Betheiligung des Radiocarpal- und Intercarpalgelenkes an den Abductionsbewegungen durch Messung der Projection der Curven bestimmt, welche die Spitze eines mit dem Metacarpale III verbundenen Stiffes theils bei intactem Gelenk, theils nach Ausschliessung des Gelenkes I durch Fixirung des Lunatum gemacht hat, wie auch der Projection der Curven, welche ein mit dem Radius verbundener Stift bei Abductionsbewegungen in Gelenk I nach Fixirung des Lunatum gezeichnet hat. Sie haben als Ausgangslage die Stellung der Hand gewählt, von welcher die Bewegung nach der ulnaren und radialen Seite gleich gross ist. Die gemessene Bewegung ist nicht in der Frontalebene des Vorderarmes, sondern in der Ebene der grössten seitlichen Bewegung ausgeführt. Da durch den Eingriff in das Gelenk die Beweglichkeit in demselben zugenommen hat, stimmt die Summe der Bewegung der beiden Gelenke nicht mit der von dem ganzen intacten Handgelenke ausgeführten Bewegung.

Der Ausschlag der Bewegung des ganzen Gelenkes war 54° , also 27° ulnare und 27° radiale Abduction. Bei ulnarer Abduction zeigte Gelenk I einen Ausschlag von 19° und Gelenk II einen solchen von 16° . Bei radialer Abduction war die Betheiligung des Gelenkes I 13° und des Gelenkes II 23° (8: S. 149).

Diese Zahlen können nicht direct mit den von mir gefundenen verglichen werden, da die Ausgangslage nicht dieselbe ist, das Resultat aber stimmt ja in der Hauptsache mit dem von mir gefundenen überein: bei einer hochgradigen ulnaren Abduction ist die Bewegung des

Radiocarpalgelenkes etwas vorwiegend; die radiale Abduction wird grösstentheils im Intercarpalgelenk ausgeführt.

3. Bewegungen zwischen den Knochen in den Carpalreihen und die dorso-volarflexorische Mitbewegung der proximalen Carpalreihe bei Abductionsbewegungen der Hand.

Wie aus dem Bericht über meine Anordnung bei der Röntgraphirung hervorgeht, habe ich versucht, während der Abductionsbewegung die rollende und dorsal- oder volarreflectirende Wirkung der abducirenden Muskeln auf die ganze Hand auszuschliessen, um Bilder von einer reinen Abductionsbewegung in der Frontalebene des Vorderarmes zu erhalten. Die Radiographirung ist auch so geordnet gewesen, dass die Carpalknochen, welche nur im Plane der Hauptbewegung rotirt haben, während aller Pausen der Bewegung dasselbe Projectionsbild beibehalten sollten, wogegen die Knochen, welche auch in anderen Ebenen rotirt haben, dies durch Veränderungen in ihrem Projectionsbilde zu erkennen geben mussten, aus denen man die Art der Bewegung beurtheilen konnte.

Es gilt nun zu untersuchen, in welchem Grade das gewünschte Resultat erreicht worden ist, und in den Fällen, wo es nicht gelungen ist, die Untersuchungsmethode ganz durchzuführen, bei der Bestimmung der Stellungsveränderungen der Knochen die entstandenen Fehler zu berücksichtigen.

Die distale Carpalreihe.

Eine Stellungsveränderung zwischen dem Capitatum und Metacarpale III ist auf keinem Röntgogramme während der Abductionsbewegung der Hand beobachtet worden. Eine seitliche Bewegung zwischen diesen Knochen dürfte also nicht vorkommen, sondern es verhalten sich das Capitatum und Metacarpale III, wenigstens bei nicht forcirten Seitenbewegungen der Hand, als ob sie einen einzigen Knochen bildeten.

Wenn nun die Mittelhand bewegt worden ist, sich nur in einer zur Photographieplatte parallelen Ebene zu bewegen, dann wird auch das Bild des Capitatum wie das des Metacarpale III in Folge der beobachteten Röntgenanordnung auf den verschiedenen Bildern derselben Serie dasselbe Projectionsbild zeigen.

Betrachten wir die Taf. V Figg. 1 und 2, so sind auch hier die Projectionen des Capitatum und Metacarpale III auf dem Bilde der ulnaren Abductionsstellung der Hand und auf dem Bilde der radialen Abductionsstellung nahezu exact congruent, was dann zeigt,

dass das Capitatum eine reine Abductionsbewegung ausgeführt hat und dass die Röntgenanordnung glücklich durchgeführt worden ist.

Die Bilder des Hamatum sind auch in beiden Stellungen congruent, so dass die Contouren des Hamatum und Capitatum in beiden Stellungen zusammenfallen. Die Metacarpalien II bis V sind ebenfalls zum Capitatum und Hamatum in derselben Stellung verblieben.

Fall II zeigt auch in allen Stellungen zusammenfallende Bilder des Capitatum und Hamatum wie der Metacarpalien II bis IV. Das Metacarpale V hat bei der Bewegung der Hand von ulnarer zu radialer Abduction eine geringe radiale Biegung gegen das Hamatum ausgeführt.

In Fall V sind auch die Bilder des Capitatum und Metacarpale III gleich. Auch das Hamatum giebt gleiche Bilder, es hat sich aber während der Bewegung von ulnarer zu radialer Abduction allmählich in proximaler Richtung gegen das Capitatum verschoben, so dass sich sowohl dessen obere wie untere Contour 1.5 mm im Verhältniss zum Capitatum verschoben hat. Das Metacarpale II ist in derselben Stellung zum Capitatum verblieben. Die Metacarpalien IV und V sind der Bewegung des Hamatum gefolgt, und ausserdem hat sich das Metacarpale V während der ulnaren Abduction der Hand im Verhältniss zum Hamatum etwas nach der ulnaren Seite gebogen.

Durch diese Röntgogramme, welche Bilder einer reinen Abductionsbewegung wiedergeben, ist bewiesen, dass das Capitatum und Hamatum bei Abductionsbewegungen der Hand nur in der Ebene der von der Hand ausgeführten Bewegung rotiren. Sie rotiren dabei nicht gegen einander. Eine unbedeutende Verschiebung in proximaler Richtung kann bei Uebergang der Hand von ulnarer zu radialer Abduction vom Hamatum gegen das Capitatum doch erfolgen. Die Metacarpalien II bis IV ändern in Folge der Abductionsbewegungen nicht ihre Stellung zur distalen Carpalreihe. Das Metacarpale V führt in einigen Fällen gegen das Hamatum Seitenbewegungen in derselben Richtung wie die Abductionsbewegungen der Hand aus.

In den Fällen I, III und IV α hat unter gewissen Abschnitten der Abductionsbewegung eine gleichzeitige Rollung der Hand nicht vermieden werden können. Diese Rollung ist indess nicht grösser gewesen, als dass das Capitatum und Hamatum wie das Metacarpale III zum grössten Theile zusammenfallende Bilder gegeben haben und nur an kleineren Partien der Contour von einander abgewichen sind. Die

Veränderungen, welche durch die Rollung eingetreten sind, bestätigen die auf den beschriebenen Röntgogrammen gemachten Beobachtungen.

Die pro- und supinatorischen Bewegungen der Multangula. Nach den Multangula verlegt H. Virchow eine bei ulnaren Abductionsbewegungen der Hand auftretende „pronatorische Biegung“, und bei radialer Abduction eine „supinatorische Biegung“, welche beide in Folge des Mechanismus des Gelenkes zwangsmässig eintreten.

Hierbei ist indess der Einfluss übersehen worden, den mit Abductionsbewegungen der Hand gleichzeitige Bewegungen des Metacarpalknochens des Daumens auf das Gelenk zwischen den Multangula ausüben. Bei einer näheren Prüfung der Röntgenbilder, wo während der Abductionsbewegungen der Hand die Lage des Daumens systematisch variiert worden ist, geht mit Sicherheit hervor, dass es Bewegungen des Metacarpale I sind, welche die pro- und supinatorische Rotation zwischen den Multangula bewirken.

In Fall IV *b* ist bei ulnarer Abductionsstellung der Hand (Taf. V Fig. 1) der Metacarpalknochen des Daumens abducirt. Bei radialer Abduction der Hand (Taf. V Fig. 2) ist der Metacarpalknochen des Daumens adducirt und schwach opponirt. Auf den Röntgogrammen ist zu sehen, wie die Projection des radialen Randes des Multangulum majus auf dem letzteren Bilde in ulnarer und distaler Richtung gegen das Multangulum minus verschoben ist.

In Fall IV *a* ist bei extremer radialer Abduction der Hand (Taf. V Fig. 3) das Metacarpale I abducirt. Durch Vergleich dieses Röntgogrammes mit Taf. V Fig. 2 ist zu sehen, wie bei radialer Abductionsstellung der Hand das Multangulum majus in verschiedenem Grade nach dem Multangulum minus rotirt sein kann je nach der vom Metacarpale I ausgeführten Bewegung. Taf. V Fig. 1, verglichen mit Taf. V Fig. 2, zeigt, dass auch die ulnare Abduction der Hand nicht mit einer zwangsmässigen pronatorischen Biegung der Multangula verbunden ist.

Die betreffende Contourveränderung ist nicht durch Rotation der ganzen Hand bewirkt, denn das Capitatum-Hamatum und die Metacarpalia II bis V haben auf Taf. V Figg. 1 und 2 ihre Contour behalten, was in solchem Falle nicht geschehen könnte. Dieselbe Erscheinung tritt auch auf einem Röntgogramme hervor, welches unmittelbar nach der Exponirung der Handstellung, die in Taf. V Fig. 2 wiedergegeben wird — radiale Abductionsstellung — Fall IV *b* — von derselben Hand nach ausgeführter Abduction des Metacarpale I.

aber mit unveränderter Hand und unverändertem Arm aufgenommen wurde. Die übrigen Handwurzelknochen haben auf diesem Röntgogramme ihre Contour und Stellung zu einander vollständig bewahrt, die Projection des Multangulum majus aber ist in radio-proximaler Richtung im Verhältniss zum Multangulum minus verschoben, was eine Verschiebung in dorsaler und proximaler Richtung Seitens des Multangulum majus gegen das Multangulum minus zeigt.

Die auf den Röntgogrammen erscheinende Verschiebung des Projectionsbildes des Multangulum majus in ulnarer und distaler Richtung bei Uebergang des Metacarpale I von Abductions- zu Oppositionsstellung giebt Seitens des Multangulum majus eine pronatorische Biegung und eine Verschiebung in distaler Richtung bei der Opposition des Daumens an.

Vergleicht man die von H. Virchow und A. Bühler publicirten Bilder, so erhält man noch ein Beispiel von dem Einflusse, den Bewegungen des ersten Metacarpalknochens auf das Gelenk zwischen den Multangula ausüben, wie auch davon, dass nicht eine gewisse Stellung der Hand zwangsweise eine gewisse Lageänderung der Multangula zur Folge hat. H. Virchow's Röntgogramme zeigen bei ulnarer Abduction eine pronatorische Biegung, bei radialer Abduction eine supinatorische Biegung des Multangulum majus; das Metacarpale I aber ist auch bei ulnarer Abduction mehr adducirt als bei radialer Abduction. Dasselbe scheint, nach den Zeichnungen zu urtheilen, bei seinen Skeletgefrierpräparaten der Hände der Fall zu sein. Die Röntgogramme, welche A. Bühler veröffentlicht hat, zeigen dagegen, obgleich er nichts darüber sagt, eine bedeutende supinatorische Biegung des Multangulum majus bei ulnarer Abduction, und das Metacarpale I ist in dieser Stellung der Hand stärker adducirt als bei radialer Abduction der Hand.

Ob diese Röntgogramme eine richtige Vorstellung von der Grösse der Multangulum-majus-Bewegung geben und nicht auch durch Ungleichförmigkeit bei der Radiographirung oder Rollung der Hand Veränderungen des Projectionsbildes der Multangula eingetreten sind, ist nicht sicher zu entscheiden möglich. — In beiden Fällen erscheint indess diese Bewegung grösser als in meinen Fällen.

Die Fälle betreffend, von denen keine Bilder wiedergegeben werden, will ich einige Erscheinungen erwähnen, welche über die Bewegungen der Multangula und über das Maass, in welchem diese Knochen von den Abductionsbewegungen der Hand beeinflusst werden, weitere Aufklärung geben.

In einer Hand — von einer Dame im mittleren Alter —, die in

Streckstellung radiographirt wurde, bei einer Exponirung mit abducirtem Daumen, bei einer anderen Exponirung mit Hand und Arm unverrückt, aber mit maximal opponirtem Daumen, ist das Bild des Multangulum majus bei Opposition des Daumens 1^{mm} in ulnarer und 1.5^{mm} in distaler Richtung verschoben, was eine sehr kleine Bewegung in pronatorischer und distaler Richtung angiebt.

In Fall Ia ist bei der Bewegung der Hand zwischen den Stellungen 1 und 2 das Metacarpale I in geringem Grade abducirt worden. Dabei ist keine seitliche Verschiebung des Multangulum majus gegen das Mult. minus erfolgt, nur Rotation im Carpometacarpalgelenke; dagegen hat sich das Multangulum majus 2^{mm} in distaler Richtung gegen das Multangulum minus bewegt. Diese Verschiebung ist ebenso gross wie die gleichzeitige Erhebung des Naviculare im Verhältniss zum Capitatum (s. S. 204), und die distale Contour des Naviculare ist während der Verschiebung im Contact mit der proximalen Contour des Multangulum majus geblieben. Diese Erhebung des Multangulum majus scheint in Folge dessen von der Rotation in radialer Richtung im Intercarpalgelenke verursacht zu sein, wodurch das Capitatum sich in proximaler Richtung im Verhältniss zur distalen Fläche des Naviculare bewegt hat, welche das Multangulum majus in distaler Richtung verschoben hat.

Ob das Multangulum minus an den Bewegungen des Multangulum majus Theil nimmt, ist auf meinen Röntgogrammen von erwachsenen Händen unmöglich sicher zu entscheiden, weil weder die Contour des Multangulum minus gegen das Multangulum majus, noch dessen Grenze gegen das Capitatum in ihrer ganzen Ausdehnung deutlich hervortritt; so viel ich aber aus den sichtbaren Contouren ersehen kann, bleibt das Multangulum minus gegen das Capitatum unbeweglich. In Fall II, wo die Verknöcherung nicht zur ganzen Masse der Carpalknochen fortgeschritten ist, geben die ossösen Partien der Multangula völlig distincte Contouren sowohl gegen einander, als gegen das Capitatum. In diesem Falle hat das Bild des Multangulum minus seine Stellung zum Capitatum beibehalten, obgleich das Bild des Multangulum majus sich sowohl seitwärts, wie in proximo-distaler Richtung bewegt hat.

Eine Bewegung zwischen dem Multangulum minus und dem Capitatum giebt sich also auf diesen Röntgogrammen nicht zu erkennen.

In Fall III ist der Daumen bei radialer Abduction der Hand stärker abducirt als bei deren ulnarer Abduction, die Abduction des Metacarpale I aber ist nicht von einer merkbaren Verschiebung des Multangulum majus in radialer Richtung begleitet im Verhältniss zu den übrigen Knochen in der distalen Carpalreihe, dessen Bild aber ist

zur radialen Seite wird hauptsächlich dadurch ermöglicht, dass sich das Naviculare nach der volaren Seite wegbiegt, um dem andringenden Capitatum Platz zu machen, und dadurch einer Excursion Raum giebt. die ebenso gross ist als die Verminderung in frontaler Richtung, welche die Gelenkfläche des Naviculare gegen das Capitatum durch diese Flexion erlitten hat. Der Ausschlag im Intercarpalgelenk aber wird auch dadurch etwas erhöht, dass ein Theil der Rotation ohne entsprechende Flexion der proximalen Reihe zu Stande kommen kann.

Dies ist nicht so auffallend, wenn man die verschiedenen Bilder neben einander betrachtet, sobald man aber die Contouren der Bilder des Capitatum über einander placirt, tritt es deutlich hervor. Man erhält indess auch ein überzeugendes Bild davon, wenn man auf den Bildern von ulnarer und radialer Abduction (Taf. V Figg. 1 und 2) auf die Lage der Projection von der distalsten Ecke des Naviculare im Verhältniss zur Projection des radialen, distalen Randes der radialen Gelenkfläche des Capitatum gegen das Naviculare acht giebt. Bei radialer Abduction geschieht diese Verschiebung des Capitatum gegen das Naviculare in proximaler Richtung, bei ulnarer Abduction in distaler Richtung. Die ganze Verschiebung variirt zwischen 1 und 2^{mm}, beträgt aber in der Mehrzahl der Fälle 2^{mm}.

Dies könnte vielleicht eine so geringe Bewegung zu sein scheinen, dass sie nicht erwähnt zu werden verdiente. Eine Verschiebung von 2^{mm} in einem Gelenk, wo der Krümmungsradius der Rotationsfläche nur ungefähr 10^{mm} ist, bedeutet aber einen Ausschlag von ungefähr 11°. Der grösste Ausschlag der Bewegung des Intercarpalgelenkes bei der Abduction, den ich gefunden habe, ist 44°. Die in Frage stehende Verschiebung wird deshalb eine nicht unwesentliche Rolle spielen.

Diese Bewegung des Capitatum gegen das Naviculare scheint, wie erwähnt, in einigen Fällen wenigstens, einen Einfluss auf die Stellung des Multangulum majus auszuüben, das beim Uebergang von ulnarer zu radialer Abduction 1 bis 2^{mm} in distaler Richtung gegen das Multangulum minus zu gleiten scheint.

Es ist ausserordentlich schwer, nach den Röntgogrammen zu entscheiden, ob das Naviculare nebst seiner seitlichen Rotation und seiner dorso-volarflexorischen Bewegung in Folge der Abductionsbewegungen der Hand auch um eine Axe in der Längsrichtung der Hand rotirt hat. Dies scheint indess nicht der Fall zu sein. In Taf. V Fig. 2, radiale Abductionsstellung, ist die volare, ulnare Contour des Naviculare freilich länger auf das Capitatum hinein projicirt als bei der ulnaren Abductionsstellung (Taf. V Fig. 1); diese Contour aber ist

in derselben Entfernung von dem Rotationscentrum der Abductionsbewegungen verblieben. (Das Naviculare behält bei der Abduction des Metacarpale I dieselbe Stellung bei.) Die Verschiebung der volaren, ulnaren Contour des Naviculare ist deshalb aller Wahrscheinlichkeit nach von der seitlichen Rotation des Capitatum gegen das Naviculare veranlasst. In einem Fall (V) scheint es, als ob das Naviculare bei radialer Abduction etwas in pronatorischer Richtung gegen das Capitatum rotirt habe — in demselben Falle hat das Lunatum-Triquetrum bei ulnarer Abduction in pronatorischer Richtung, bei radialer in supinatorischer rotirt. Aus den Randbildern der Abductionsstellungen kann man keinen bestimmten Schluss ziehen betreffs einer möglicher Weise vorkommenden Rotation um eine Längsaxe des Naviculare. Deutliche Zeichen einer solchen giebt es nicht, aber die durch die Dorso-Volarflexion und Seitenrotation hervorgerufenen Projectionsveränderungen können vielleicht durch geringere Rollung verursachte Contourveränderungen verdecken.

Hinsichtlich der Art der Bewegung zwischen dem Naviculare und den Multangula bei der Rotation des Naviculare in der Sagittalebene während der Abductionsbewegungen betont H. Virchow, dass das Naviculare nicht gegen die Multangula rotirt, sondern bei seiner Dorsalflexion gegen den Radius von den Multangula abgehellt wird.

Der Fall, von welchem es mir gelungen ist, gute Randbilder (Taf. VI Figg. 10 und 11) zu erhalten, scheint diese Beobachtungen zu bestätigen. Ein sicherer Schluss hierüber ist mir indess nicht möglich. Seitwärts rotirt doch das Naviculare gegen die Multangula. Vergleiche die Stellung der distalen Fläche des Naviculare zu den Multangula bei ulnarer Abduction (Taf. V Fig. 1) und bei radialer Abduction (Taf. V Fig. 2)!

Die Neigung des Naviculare gegen die Längsrichtung der Hand bei der Streckstellung derselben scheint, nach den Flächenansichten zu urtheilen, in verschiedenen Fällen etwas zu variiren. Auf dem radialen Randbilde von Fall I (Taf. VII Fig. 18) bildet der dorsale Rand mit der Längsaxe der Hand nach der volaren Seite einen Winkel von ungefähr 50° .

Es erscheint bei dem ersten Blick auf die Röntgogramme (Taf. V Figg. 1 und 2), als ob der proximale ulnare Rand des Naviculare bei der Abduction von der radialen Fläche des Lunatum abgehellt würde, indem der Zwischenraum zwischen diesen Knochen vergrößert worden ist. Eine Verschiebung des ulnaren Theiles der proximalen Contour des Naviculare in radialer Richtung kommt nämlich in allen Fällen bei radialer Abduction vor. Die Erklärung des Phänomens

dürfte doch nicht darin liegen, dass die Fläche des Naviculare gegen das Lunatum von diesem Knochen abgehebelt wird, sondern ist in der Form des ulnaren Theiles der proximalen Gelenkfläche des Naviculare zu suchen, die bei verschiedenen Flexionsstellungen des Naviculare ein verschiedenes Projectionsbild hervorruft.

Der ulnare Rand der proximalen Fläche des Naviculare verläuft in seiner dorsalen Partie ungefähr parallel mit dem radialen Rande der proximalen Fläche des Lunatum, weicht aber in seinem volaren Theil in einer seichten Curve radialwärts von dem queren Rande des Lunatum ab. Der ulnare Theil der proximalen Fläche des Naviculare hat im volaren Theil auf einem Gebiete, welches von hinten nach vorn an Breite zunimmt, eine stärkere Curvatur in frontaler Richtung als die sonstige Fläche. Ausserdem ist der proximo-ulnare Rand des Naviculare in seinem proximalen und volaren Theil abgerundet, während derselbe in seinem dorsalen Theil einen scharfen Abschluss der proximalen Gelenkfläche bildet.

Bei der ulnaren Abduction, wo die proximale Carpalreihe gegen den Radius dorsalflectirt ist, sind es die dorsalen Theile der proximalen Gelenkflächen des Naviculare und Lunatum, die als Grenzcontouren dieser Knochen projectirt werden. In Taf. V Fig. 1 ist zu sehen, wie in dieser Stellung die gegen einander gerichteten Contouren des Naviculare und Lunatum auf dem Projectionsbilde nahezu gleichlaufend sind (etwas divergirend in proximaler Richtung) bis hinunter zur Gelenkfläche des Radius. Der radiale Rand des Lunatum geht in einer scharfen Ecke in den proximalen über, die ulnare Contour des Naviculare aber geht mit einer abgerundeten Ecke in dessen proximale Contour über, so dass zwischen den proximalen Flächen des Naviculare und Lunatum eine seichte, rinnenförmige Einsenkung vorkommt.

Bei der während der radialen Abduction auftretenden Volarflexion der proximalen Carpalreihe gegen den Radius ist es der volare Theil der proximalen Fläche des Naviculare, welcher auf dem Projectionsbilde die Grenzcontour des Naviculare hervorruft. Wir sehen auch hier (Taf. V Fig. 2 und 3), wie die gegen einander gekehrten Contouren des Naviculare und Lunatum in ihrem distalen Theile ungefähr parallel verlaufen, wie aber die ulnare proximale Ecke des Naviculare gleichsam abgeschnitten erscheint, wodurch die Rinne zwischen den proximalen Flächen der beiden Knochen radialwärts sowohl an der Höhe wie an der Breite vergrößert worden ist.

Mittels eines Zirkels findet man leicht, dass die Projection des Theiles der Gelenkfläche des Naviculare, welcher mit dem Radius in Berührung ist, bis zu einem gewissen Punkte (c Taf. V Fig. 3) auf der

Gelenkfläche des Radius eine Kreislinie mit dem Rotationscentrum (M) als Mittelpunkt bildet; von diesem Punkte aber erhebt sich der ulnare Theil der proximalen Gelenkfläche des Naviculare je nach der fortschreitenden radialen Abduction in steigendem Grade über diese Kreislinie.

Auf dem in Taf. V Fig. 3 wiedergegebenen Röntgogramme tritt der grösste Theil der Contour der distalen Gelenkfläche des Radius hervor. Der Punkt L ist über dem höchsten Punkte der auf der Gelenkfläche vorhandenen Leiste angebracht. Wie aus der Figur hervorgeht, bildet die Projection der radial vom Punkte e befindlichen Partie der Gelenkfläche des Radius eine Kreislinie mit dem Rotationscentrum für die Abductionsbewegungen (M) als Mittelpunkt, aber das ulnar vom Punkte e zum Höhenpunkte (L) der Leiste gelegene Gebiet der Gelenkfläche des Radius erhebt sich über diese Kreislinie.

Zeichnen wir auf die Taf. V Figg. 1 und 2, auf welchen die Contour der Gelenkfläche des Radius nicht distinct hervortritt, L und e analog gelegene Punkte, so zeigt es sich, dass bei der ulnaren Abductionsstellung der ulnarste Theil der proximalen Fläche des Naviculare gegen den radialen Theil der Leiste ($L—e$) ruht. Bei Verschiebung in ulnarer Richtung vom ulnaren Theile des Naviculare während der radialen Abduction hat sich der ulnare Theil seiner proximalen Fläche durch Formveränderung der Contactfläche gegen den Radius, hervorgerufen durch die gleichzeitige Dorso-Volarflexion, allmählich erhoben, wodurch es dem Naviculare möglich geworden ist, unter beibehaltenem Contact mit der radialen Abtheilung der Gelenkfläche, wie mit der Leiste des Radius, um eine durch den Punkt M laufende sagittale Axe zu rotiren.

Es ist zu merken, dass die nun gegebene Beschreibung der Flächen des Naviculare und Lunatum sich auf die ossösen Theile dieser Knochen bezieht. Die auf den Röntgogrammen erscheinende Rinne auf der proximalen Fläche der Carpalreihe zwischen dem Naviculare und Lunatum wird von den ossösen Theilen dieser Knochen begrenzt. In dem intacten Gelenke wird dieser Raum durch die Knorpelbekleidung der Knochen wie durch das Lig. inteross. lunato-naviculare vermindert. Die auf den Röntgogrammen beobachtete That- sache, dass der ulnare Theil der proximalen ossösen Gelenkfläche des Naviculare beim Passiren eines gewissen Punktes auf der Gelenkfläche des Radius sich von der Bahn erhebt, längs welcher sich das Naviculare gegen den Radius bewegt, zu Folge dessen, dass das Naviculare durch seine Flexion während der Abductionsbewegung die Form des

ulnaren Theiles der dem Radius zugekehrten Fläche verändert, muss auch für den knorpelbekleideten Knochen gelten. Der Knorpel ist ja auch einigermaassen nachgiebig, wie das Bindegewebe, welches sich in der Rinne zwischen dem Naviculare und Lunatum befindet, dem Drucke der Leiste nachgeben dürfte.

In Folge der nun beschriebenen Formveränderungen des ulnaren Theiles der Contactfläche des Naviculare gegen den Radius verhindert nicht die an der Gelenkfläche des Radius befindliche Leiste, die sich über die Rotationsfläche des Radius gegen das Naviculare erhebt, dass das Naviculare unter beibehaltenem Contact mit der radialen Rotationsfläche des Radius wie mit der Leiste seitwärts gegen den Radius um eine durch das gefundene Rotationscentrum (*M*) laufende sagittale Axe in der Ausdehnung rotirt, wie dies bei den Abductionsbewegungen der Fall ist.

Betrachten wir das Verhalten des Lunatum zum Punkt *L*, so ist es erst bei extremer ulnarer Abduction, dass dessen radiale Ecke diesen Punkt überschreitet, und dabei erhebt sich dessen proximale Contour über denselben. Das Verhalten des Lunatum zur Leiste wird im Absch. 4 näher dargelegt. Weder die seitliche Rotation des Naviculare, noch die des Lunatum gegen den Radius wird von der an der Gelenkfläche des Radius befindlichen Leiste bei dem Grade der seitlichen Rotation gestört, der im Radiocarpalgelenke vorkommt.

Andererseits deutet das nun dargelegte Verhalten des Naviculare zur Leiste darauf hin, dass die am Radius befindliche Leiste dazu beiträgt, die Abductionsbewegungen des Radiocarpalgelenkes zu begrenzen und einen festen Gang der Bewegung zu bewirken.

Das Triquetrum. Betreffend die Bewegungen des Triquetrum gegen das Hamatum stimmen meine Röntgogramme völlig mit der von H. Virchow (5) gegebenen Schilderung überein.

Taf. VII Fig. 15 giebt ein Röntgogramm der ulnaren Seite der Hand in Streckstellung wieder. Diese Figur zeigt, wie das Triquetrum in Streckstellung gegen den proximalen Theil der ulnaren Fläche des Hamatum ruht und im Verhältniss zur Längsaxe der Hand etwas volar-flectirt ist. Bei der Streckstellung der Hand lässt das Triquetrum den untersten und obersten Theil der ulnaren Fläche des Lunatum unberührt. Betrachten wir die radiale Abductionsstellung der Hand Taf. V Figg. 2 und 3), so zeigt es sich, dass gleichzeitig mit erfolgter Rotation im Intercarpalgelenke, wodurch der ulnare Theil der proxi-

malen Gelenkfläche des Capitatum ausserhalb der Fläche des Lunatum geschoben und das Hamatum in ulnarer Richtung gegen das Triquetrum geglitten ist, das Triquetrum in distaler Richtung gegen das Lunatum geglitten und mit dem radialen Theile seiner distalen Fläche gegen das Capitatum und Hamatum gepresst worden ist. Gehen wir nun zum Bilde der ulnaren Abductionstellung der Hand über (Taf. V Fig. 1), so ist nun das Triquetrum in proximalo-ulnarer Richtung gegen das Lunatum geglitten, so dass deren proximale Gelenkflächen in gleiche Höhe mit einander gekommen sind. Diese Bewegung des Triquetrum gegen das Lunatum zeigt sich in allen Fällen. H. Virchow erwähnt in der Zusammenfassung seiner Beobachtungen (5: S. 480), dass bei radialer Abduction die immerhin feste Verbindung des Triquetrum mit dem Capitatum und Hamatum ein Vergleiten desselben am Lunatum in distaler Richtung erzeuge.

Ich habe diese Bewegung des Triquetrum gegen das Lunatum und deren Eintreten bei ulnarer wie bei radialer Abduction hervorheben wollen, weil sie neben der Dorsal- und Volarflexion des Triquetrum bei Abductionsbewegungen der Hand dadurch von Bedeutung ist, weil sie theils dem ulnaren Rande der Gelenkpfanne des Intercarpalgelenkes Nachgiebigkeit verleiht, theils die Insertion des *Musc. flex. carpi uln.* bei der ulnaren Abduction ulnarwärts verschiebt.

In den Fällen, wo die Hand eine Rollung während der Abductionsbewegung ausgeführt hat, giebt sich diese Rollung nicht nur durch Contourveränderung bei der distalen Carpalreihe zu erkennen, sondern zeigt sich auch bei der proximalen und tritt ebenfalls auf dem Bilde des Triquetrum hervor. In den Fällen dagegen (siehe Taf. V Figg. 1 und 2), wo keine erkennbare Rollung der gesamten Hand zu Stande gekommen ist, zeigt sich keine Veränderung in den Seitencontouren des Triquetrum, noch eine Veränderung in dessen Breite. Nach den Röntgogrammen zu urtheilen, führt also das Triquetrum keine von der Abduction hervorgerufene supinatorische, noch pronatorische Rollungsbewegung im Verhältniss zu den übrigen Knochen der Handwurzel aus. In einem Falle (V) scheinen indess, wie erwähnt, das Triquetrum und Lunatum bei radialer Abduction in supinatorischer Richtung rotirt zu haben, während das Naviculare eine pronatorische Rotation gemacht hat.

Das Pisiforme. Alle Röntgenbilder der Hand stimmen darin überein, dass sie bei den Abductionsbewegungen eine Verschiebung des Pisiforme gegen das Triquetrum zeigen. Diese Verschiebung ist indess meiner Ansicht nach nicht derart, dass sie eine directe Ein-

wirkung des *Musc. flexor carpi uln.* auf das Radiocarpalgelenk anschliesst (5: S. 478).

Wenn man auf das Bild von der ulnaren Abductionsstellung der Hand (Taf. V Fig. 5) das Bild der radialen Abductionsstellung placirt, so kann man, obgleich das Projectionsbild des Triquetrum durch dessen Dorso-Volarflexion theilweise verändert worden ist, doch mit Hülfe der ulnaren Contour und der Doppelcontour der radialen Fläche die Contouren des Triquetrum ziemlich genau in die beiden Stellungen über einander einpassen. Es zeigt sich dann, dass das Pisiforme sich 5 mm gegen das Triquetrum in der Richtung der Linie cp_1 verschoben hat. Diese Bewegung ist ebenso gross als die Verschiebung in derselben Richtung, die vom Hamulus Hamati im Verhältniss zum Triquetrum ausgeführt worden ist. Das Pisiforme hat also an der durch Rotation im Intercarpalgelenke hervorgerufenen Verschiebung des Hamatum in dieser Richtung Theil genommen. Das Hamatum aber bewegt sich gegen das Triquetrum in einer krummen Bahn, so dass der Theil des Hamatum, welcher bei radialer Abduction mit dem Triquetrum in Contact ist, bei dem Uebergange der Hand zu ulnarer Abduction ausser seiner Verschiebung in proximaler Richtung sich auch nach der radialen Seite bewegt hat. Wir können die Verschiebung zwischen dem Hamatum, Triquetrum und Pisiforme in der Richtung der Gelenkfläche des Hamatum gegen das Triquetrum dadurch bestimmen, dass wir die Contouren des Hamatum auf den Bildern der ulnaren und radialen Abductionsstellung (Taf. V Fig. 1 und 2) über einander placiren und die Entfernung zwischen den Bildern des Triquetrum und Pisiforme in den beiden Stellungen zum Hamatum messen.

In Taf. V Fig. 6 sind das Triquetrum und Pisiforme durch ein solches Verfahren in ihrer Stellung zum Hamatum während radialer und ulnarer Abduction gezeichnet.

Die Lage der beiden Knochen während der radialen Abduction der Hand wird durch eine punktirte Contour angegeben, deren Lage bei ulnarer Abduction wird durch zusammenhängende Linien bezeichnet. Die Kreislinie HM ist annähernd parallel mit der Curve gezogen, welche die proximale und distale Contour des Triquetrum während der Rotation gegen das Hamatum beschrieben haben. Der Mittelpunkt dieser Kreislinie ist der Punkt X . Von diesem Punkte sind die Projectionslinien s_1 und s_2 gezogen, welche den ulnaren Rand des Triquetrum tangiren. Die Entfernung zwischen deren Schnheidungspunkten in HM ist 11.5 mm. Durch analoge Punkte am radialen Rande des Triquetrum sind die Projectionslinien t_1 und t_2 gelegt. Die

Entfernung zwischen deren Schneidungspunkten in HM ist ebenfalls 11.5 mm . Die Verschiebung des Triquetrum im Verhältniss zum Hamatum ist, berechnet längs der Curve HM , also 11.5 mm .

Die Linien f_1 und f_2 bezeichnen den grössten Längsdurchmesser des Pisiforme. Dieser ist auf beiden Projectionsbildern gleich gross. In allen übrigen Fällen hat die Projection des Pisiforme denselben Längsdurchmesser beibehalten. Die Punkte O_1 und O_2 bezeichnen den Mittelpunkt des Längsdurchmessers des Pisiforme. Der Punkt O_1 befindet sich auf der Curve HM . Von X wird die Linie r nach O_2 gelegt und schneidet HM 9 mm von O_1 . O_2 liegt 4 mm entfernt von HM . — Während einer Bewegung des Hamatum von 11.5 mm gegen das Triquetrum hat sich also das Pisiforme im Verhältniss zum Triquetrum 2.5 mm längs der Curve HM verschoben. In der zu dieser Kreislinie rechtwinkligen Richtung ist es dagegen 4 mm gegliitten.

Durch das Lig. piso-hamatum wird die Wirkung des Musc. flexor carpi ulnaris vom Pisiforme, wo die Muskelsehne inserirt, zum Hamulus Hamati hinüber geführt. Das Lig. piso-hamatum aber verläuft bei Streckstellung der Hand nicht in gerader Linie mit der Sehne des Musc. flex. carpi uln., sondern bildet mit dieser einen radialwärts offenen Winkel, der bei radialer Abduction abnimmt.

In Taf. V Figg. 1, 2 und 7 sind die Linien cP in derselben Richtung im Verhältniss zum Vorderarm gezogen. Die Linien ab verbinden die identischen Punkte a auf dem Hamulus Hamati und den Punkt b auf dem Pisiforme, welcher den distalen Endpunkt des Längsdurchmessers des Pisiforme bildet. P bezeichnet die Kraft, mit welcher der Musc. flexor carpi uln. in der Richtung der Linie cP auf das Pisiforme wirkt. Die Linie ab giebt approximativ den Verlauf des Lig. piso-hamatum an.

Die Kraft (P), welche auf dem Pisiforme durch den Musc. flexor carpi uln. angebracht wird, kann man sich in zwei Composanten vertheilt denken, eine, welche in der Richtung des Lig. piso-hamatum (p_1) wirkt, und eine gegen diese winkelrechte Composante (p_2), welche darnach strebt, das Pisiforme in radialer Richtung zu führen.

Die Wirkung der ersteren Composante resultirt in einer Verschiebung des Pisiforme gegen das Triquetrum in der Richtung des Lig. piso-hamatum (von in diesem Falle 5 mm) und einer entsprechenden Verschiebung des Hamatum gegen das Triquetrum in dieser Richtung.

Die letztere Composante würde, wenn das Pisiforme in ihrer Richtung gegen das Triquetrum frei beweglich wäre, dasselbe radialwärts gegen das Triquetrum führen, bis das Lig. piso-hamatum und die Sehne des Musc. flexor carpi uln. in ihrer Richtung zusammenfielen, ohne

dass der *Musc. flexor carpi uln.* einen directen Einfluss auf die proximale Carpalreihe ausübte. Die Beweglichkeit des Pisiforme gegen das Triquetrum in radialer Richtung ist indess sehr begrenzt, was daraus hervorgeht, dass, wie soeben gezeigt, bei Bewegung des Hamatum gegen das Triquetrum in der Richtung der Gelenkfläche des Hamatum, berechnet längs der Curve *HM*, sich das Pisiforme nur 2.5 mm gegen das Triquetrum verschoben hat, während die Verschiebung des Hamatum 11.5 mm beträgt.

In Fall I betragen die entsprechenden Verschiebungen 2.5 mm und 10 mm, in Fall III 2 mm und 9 mm, und in Fall V 1.5 und 13 mm. In Fall II ist das Pisiforme noch nicht verknöchert. In Fall IV *a* sieht man gar keine Verschiebung des Pisiforme gegen das Triquetrum in der Richtung der Gelenkfläche des Hamatum, hier aber ist durch die pronatorische Rollung der Hand bei ulnarer Abduction das Pisiforme bei dieser Handstellung mehr ulnar auf das Triquetrum projicirt worden, als wie es der Fall gewesen wäre, wenn die Hand ihre Neigung zur Platte beibehalten hätte. In Folge dessen tritt in diesem Falle nicht die geringe seitliche Verschiebung des Pisiforme gegen das Triquetrum bei dem Vergleich zwischen der Stellung der Knochen bei ulnarer und radialer Abductionsstellung hervor.

In den Fällen I und III dürfte wegen desselben Umstandes die Verschiebung des Pisiforme gegen das Triquetrum seitwärts etwas grösser sein, als es scheint.

Es gilt nun zu untersuchen, ob die seitliche Bewegung, welche zwischen dem Pisiforme und Triquetrum möglich ist, genügt, um das *Lig. piso-hamatum* und die Sehne des *Musc. flexor carpi uln.* in dieselbe Richtung zu bringen, oder ob sich auch nach der Gleitung des Pisiforme ein Winkel zwischen ihnen vorfindet und man also annehmen kann, dass die in radialer Richtung wirkende Composante (p_2) durch die Spannung in den das Pisiforme und Triquetrum verbindenden Bändern auf das Triquetrum übertragen wird und demnach Rotation im Radiocarpalgelenke bewirkt. Die Taf. V Figg. 1, 2 und 7 (Fall IV *b*) erklären dies.

Bei radialer Abductionsstellung der Hand (Taf. V Fig. 2) bildet *cP* mit *ab* einen radialwärts offenen Winkel von 157° . Die Kraft p_2 ist bestrebt, das Pisiforme in radialer Richtung zu führen.

$p_2 : P = \sin 23^\circ = 0.391$. p_2 ist also ungefähr $\frac{4}{10}$ von P .

In Fig. 7 Taf. V ist die Veränderung veranschaulicht, die unter der Voraussetzung, dass nicht gleichzeitig eine Rotation im Radiocarpalgelenke stattfindet, in der Stellung von *cP* zu *ab* wegen der Gleitung des Pisiforme gegen das Triquetrum und in Folge der Stel-

lungsveränderung des Hamatum zum Pisiforme durch die Rotation im Intercarpalgelenke wie durch die Gleitung des Triquetrum gegen das Lunatum eintreten würde.

Taf. V Fig. 7 ist in der Weise gewonnen, dass über das Bild von der radialen Abductionsstellung der Hand (Taf. V Fig. 2), deren Contouren hier mit ausgezogenen Linien gezeichnet sind, das Bild der ulnaren Abductionsstellung (Taf. V Fig. 1), deren Contouren hier punktiert sind, so eingepasst ist, dass das Rotationscentrum (M), die ulnare und radiale Contour des Lunatumkörpers, der distale Theil der ulnaren Contour des Naviculare, wie die Partie der proximalen Contour des Naviculare, die mit dem radialsten Theile der Gelenkfläche des Radius im Contact ist, auf den beiden Bildern zusammenfallen — also dasselbe Verfahren wie bei der Bestimmung der Rotation des Intercarpalgelenkes.

Der Winkel zwischen cP und ab ist allerdings vergrössert, aber nur um etwa 5° , so dass er jetzt etwa 162° beträgt. Nun ist $p_2:P = \sin 18^\circ = 0.309$. $\frac{3}{10}$ von P sind also in der Richtung von p_2 noch wirkend.

Bei ulnarer Abductionsstellung der Hand (Taf. V Fig. 1), wenn eine Rotation auch im Radiocarpalgelenke ausgeführt worden ist, weichen ab und cP dagegen nur 5° ab, um in ihrer Richtung zusammen zu fallen. Nun ist $p_1:P = \sin 5^\circ = 0.087$.

Hieraus geht hervor, dass die in radialer Richtung wirkende Composante (p_2) nicht durch die Gleitung des Pisiforme gegen das Triquetrum neutralisirt worden ist, sondern durch Spannung der Bänder, welche einer seitlichen Verschiebung des Pisiforme gegen das Triquetrum entgegen wirken, auf die proximale Carpalreihe übergeleitet worden ist und eine Rotation derselben gegen den Radius bewirkt hat.

Es ist dabei von grösstem Interesse zu beobachten, dass die durch die Rotation der proximalen Carpalreihe bewirkte Ausgleichung von dem Winkel zwischen dem Ligamentum piso-hamatum und der Sehne des Musc. flex. carpi uln. nicht durch radiale Verschiebung der Insertionsfläche des genannten Muskels auf der proximalen Reihe, sondern durch die von der Rotation hervorgerufene ulnare Verschiebung des Hamulus Hamati zu Stande kommt.

Die Gelenkfläche des Triquetrum gegen das Pisiforme erleidet, wegen der Lage derselben zur Rotationsaxe, kaum eine merkbare seitliche Verschiebung durch die Ulnarrotation der proximalen Reihe. Die Bewegung des Triquetrum gegen das Lunatum bewirkt aber eine ulnare Verschiebung der Insertionsfläche des Musc. flex. carpi uln. bei der

ulnaren Abduction. Bei der ulnaren Abductionsstellung der Hand bildet nämlich die ulnare Fläche des Lunatum einen ulnarwärts offenen Winkel gegen die Längsrichtung des distalen Radiusendes von etwa 30° (s. Taf. V Fig. 1.) Das Triquetrum hat sich beim Uebergang der Hand von radialer zu ulnarer Abductionsstellung etwa 6 mm längs dieser Fläche bewegt. In Folge dieser Bewegung soll das Triquetrum, wie ja leicht zu finden ist, nicht nur etwa 5 mm in proximaler Richtung, sondern auch etwa 3 mm in ulnarer Richtung verschoben worden sein. Ein Punkt auf dem Bilde des Triquetrum, der annähernd dem Mittelpunkt von dessen Gelenkfläche gegen das Pisiforme entspricht, hat sich auch in der That bei der ulnaren Abduction etwa 3 mm ulnarwärts verschoben. Durch diese ulnare Verschiebung der Insertionsfläche des *Musc. flex. carpi uln.* auf dem Triquetrum bei der ulnaren Abduction, in Folge der Bewegung des Triquetrum gegen das Lunatum, wird die directe ulnarrotirende Wirkung dieses Muskels auf die proximale Carpalreihe vergrößert, indem nur die ulnare Verschiebung des Hamulus Hamati den radialwärts offenen Winkel zwischen dem Ligamentum piso-hamatum und der Sehne des *Musc. flex. carpi uln.* auszugleichen strebt, während die ulnare Verschiebung der Insertionsfläche des genannten Muskels auf der proximalen Carpalreihe die Beibehaltung dieses Winkels bezweckt.

Während die in radialer Richtung wirkende Composante des *Musc. flex. carpi uln.* also nicht eine entsprechende Verschiebung des Pisiforme gegen das Triquetrum, sondern hauptsächlich eine Rotation im Radiocarpalgelenke verursacht hat, bewirkt dessen in der Richtung des Lig. piso-hamatum laufende Composante dagegen eine Verschiebung des Pisiforme am Triquetrum und eine entsprechende Verschiebung des Hamatum gegen das Triquetrum, d. h. eine Rotation im Intercarpalgelenk.

Es ist also anzunehmen, dass der *Musc. flex. carpi ulnaris* in Folge der Verschiebbarkeit des Pisiforme gegen das Triquetrum in der Richtung des Lig. piso-hamatum und wegen seiner geringen seitlichen Beweglichkeit gegen dasselbe einen directen Einfluss auf die beiden Carpalgelenke ausübt, als ob dessen Sehne durch einen an der Gelenkfläche des Triquetrum gegen das Pisiforme angebrachten Block liefe, um auf dem Hamulus Hamati zu inseriren.

In dem Maasse, wie die Friction zwischen dem Pisiforme und Triquetrum durch vermehrte Spannung der sie vereinenden Bänder bei dessen Bewegung in der Richtung des Lig. piso-hamatum zunimmt, übt auch die in dieser Richtung wirkende Composante des *Musc. flex.*

carpi uln. eine rotirende Einwirkung auf die proximale Carpalreihe aus, weil ein statisches Moment für diese Kraft hinsichtlich des Rotationscentrums des Radiocarpalgelenkes existirt.

Durch das Ligamentum piso-metacarpum wirkt der Musc. flex. carpi uln. nicht auf die distale Carpalreihe ein, denn dieses Ligament erschlafft bei ulnarer Abduction, indem die Basis des Metacarpale V sich dem Pisiforme nähert.

Die Beweglichkeit des Pisiforme gegen das Triquetrum dürfte ausser darum, dass es eine Einwirkung des Musc. flex. carpi uln. auf das Intercarpalgelenk erlaubt, für die Rotation im Intercarpalgelenke auch deshalb sehr wichtig sein, weil dadurch die Verbindung des Hamatum mit dem Triquetrum mittelst des Lig. piso-hamatum und des Pisiforme eine entsprechende Dehnbarkeit erhält. Dadurch erhält das Intercarpalgelenk grössere Möglichkeit zur Excursion in radialer Richtung, und dadurch wird das Lig. piso-hamatum bei ulnarer Abduction gespannt, was dem Gelenk grössere Festigkeit giebt.

Das Lunatum. Der Grad der dorso-volaren Flexion des Lunatum gegen den Radius während der Abductionsbewegungen der Hand lässt sich auf den Randbildern der Abductionsstellungen unmöglich genau bestimmen, da in Folge der Röntgenanordnung weder der Radius, noch das Lunatum in den beiden Stellungen hat identische Bilder geben können. Die Vergrösserung ist ja auch nicht dieselbe. Durch eine approximative Einpassung der Contouren der Knochen in den beiden Stellungen über einander habe ich indess versucht, die Grösse dieser Bewegungen annähernd zu bestimmen.

Auf den ulnaren Randbildern (Taf. VI Figg. 8 und 9) sind die mit α bezeichneten Linien in derselben Richtung zum Radius gezogen, ebenso die Linien α auf den radialen Randbildern (Taf. VI Figg. 10 und 11). Die Linie α_1 auf dem ulnaren Abductionsbilde von der ulnaren Seite (Taf. VI Fig. 8) ist im Verhältniss zum Lunatum analog der Linie α auf dem radialen Abductionsbilde von derselben Seite (Taf. VI Fig. 9) gelegt. Auf den Bildern der radialen Seite der Hand ist die Linie α_1 auf dem Radial-Abductionsbilde (Taf. VI Fig. 11) in derselben Stellung zum Lunatum wie die Linie α auf dem Ulnar-Abductionsbilde (Taf. VI Fig. 10) gelegt. Auf den ersteren Bildern erhält man bei dem Uebergange von ulnarer zu radialer Abduction eine Volarflexion des Lunatum gegen den Radius von etwa 20°, auf den letzteren eine Flexion in derselben Richtung von etwa 18°. Die Flexion des Lunatum gegen den Radius während

Das Naviculare befindet sich zwischen den Multangula und dem Radius wie ein nach vorn sich neigender zweiarmiger Hebel eingesetzt, der die Axe für seine Bewegung gegen das Capitatum als Drehaxe hat. In Folge der Belastung an seinem vorderen distalen Ende rotirt nun das Naviculare im Intercarpalgelenke gegen die Gelenkfläche des Capitatum, die nach demselben sieht. Dadurch wird das vordere Ende der Längsaxe des Naviculare gesenkt und das hintere Ende derselben erhoben. Die an der Mittelhand inserirenden, radial abducirenden Muskeln würden beim Zusammenwirken nicht diese Bewegung des Naviculare erzeugen können, wenn nicht das Naviculare in der Sagittalebene gegen die distale Carpalreihe wie gegen den Radius beweglich wäre. Nun kommt diese Bewegung dadurch zu Stande, dass das Naviculare gegen den Radius volar rotirt und gegen die Multangula und das Capitatum dorsal flectirt wird.

Die Bewegung des Naviculare wird nach dem mit demselben verbundenen Lunatum und durch dieses zum Triquetrum fortgepflanzt, welche durch Rotationsflächen gegen die distale Carpalreihe sowohl, wie gegen die Gelenkpfanne des Vorderarmes beweglich sind, so dass sie, wie die Röntgogramme zeigen, gleichzeitig mit der Volarrotation im Radiocarpalgelenke im Intercarpalgelenke dorsal flectirt werden.

Die Form der Gelenkflächen zwischen dem Hamatum und Triquetrum zwingt auch das Triquetrum, gleichzeitig mit der Radialabduction, eine Dorsalflexion gegen das Hamatum auszuführen, welcher von einer entsprechenden Volarflexion im Radiocarpalgelenke das Gegengewicht gehalten wird.

Bei ulnarer Abduction hat die Flexion der proximalen Carpalreihe einen umgekehrten Verlauf. Die Faktoren, welche die Flexion hierbei zu Stande bringen, dürften der am distalen Ende des Naviculare wirkende, nach oben gerichtete Zug und die Schraubenform der Gelenkflächen zwischen dem Triquetrum und Hamatum sein.

4. Welche Rotationsflächen leiten die Abductionsbewegungen im Intercarpal- und Radiocarpalgelenke?

Das Intercarpalgelenk.

Bei der Besprechung der Axenlagen bei den Abductionsbewegungen erwähnte ich, dass die Projection der proximalen ossösen Fläche des Capitatum und der proximale Theil von dessen radialer Fläche eine Kreislinie bilden, deren Mittelpunkt in dem für die Abductionsbewegungen gefundenen Rotationscentrum liegt. Diese Flächen, wie ihnen

entsprechende Flächen am Naviculare und Lunatum, scheinen deshalb die Bewegung der distalen Carpalreihe gegen die proximale zu leiten. Die an dem knorpelbekleideten Knochen markirte Kante zwischen den proximalen und radialen Flächen des Capitatum scheint eine regelmässige Rotation nicht zu hindern.

Die ulnare Gelenkfläche des Hamatum hat für ihre Projection auf der Horizontalebene einen grösseren Halbmesser als die Gelenkfläche des Capitatum, so dass deren Mittelpunkt ungefähr im Punkte *X* der Fig. 6 Taf. V liegt. Dadurch wird indess die distale Carpalreihe nicht gehindert, sich um eine durch den Punkt *M* laufende sagittale Axe gegen die proximale Carpalreihe zu bewegen, indem das Triquetrum in proximaler und distaler Richtung gegen das Lunatum beweglich ist.

In Taf. V Fig. 4 ist bis an die Gelenkfläche des Capitatum gegen die proximale Carpalreihe eine (rothe) Kreislinie mit *M* als Mittelpunkt gezogen. Sie ist hier mit den radialen zwei Dritteln der proximalen Contour und dem proximalen Theile der radialen Contour gleichlaufend, während sie die ulnare Ecke der proximalen Gelenkfläche schneidet. In einigen Fällen läuft auch die Contour des ulnaren Theiles der proximalen Gelenkfläche parallel mit einer Kreislinie mit dem Rotationscentrum als Mittelpunkt. In solchen Fällen, wie dem abgebildeten, wo die ulnare Ecke der proximalen Fläche sich unter das Niveau der übrigen Gelenkfläche senkt, dürfte diese Ecke die Leiste an der distalen Gelenkfläche des Lunatum nicht überschreiten. Der von dieser Leiste radialwärts gelegene Theil der distalen Gelenkfläche des Lunatum scheint die Bewegung zwischen dem Capitatum und Lunatum zu leiten, während die von der Leiste ulnarwärts gelegene Facette dazu bestimmt sein dürfte, bei extremer ulnarer Abduction die proximale Kante des Hamatum aufzunehmen.

Das Radiocarpalgelenk.

Hinsichtlich des Radiocarpalgelenkes stossen wir auf grosse Schwierigkeiten, durch die Projectionenbilder der Gelenkflächen zu entscheiden, ob die vereinten Gelenkflächen von Naviculare und Lunatum die Bewegung in diesem Gelenke leiten, oder ob nur eine von den Gelenkflächen dieser Knochen die Bewegung bestimmt. Das Triquetrum betreffend ist nicht anzunehmen, dass dieser Knochen, der nur bei ulnarer Abduction mit dem Discus in Berührung und nie mit dem Vorderarm in Knochencontact kommt und in wesentlichem Grade gegen das Lunatum verschiebbar ist, einen leitenden Einfluss auf die Bewegung im Radiocarpalgelenke haben sollte.

Die Projection der proximalen Gelenkfläche des Naviculare entspricht bei allen Momenten der Abductionsbewegung und in allen Fällen in den Theilen, welche mit dem Radius in Contact kommen, bis zu dem Punkte (*e* Taf. V Fig. 4), wo sich die Fläche des Naviculare erhebt, um die Leiste überschreiten zu können, einen Kreisbogen mit dem gefundenen Rotationscentrum für die Abductionsbewegungen des ganzen Gelenksystemes (*M*) als Mittelpunkt.

Die Partien der proximalen Fläche des Naviculare, welche mit diesem Theile der Radiusfläche in Berührung sind, nehmen auf allen Röntgogrammen aus derselben Serie dieselbe Lage zum Radius wie zum Rotationscentrum ein.

Der Theil der proximalen Fläche des Naviculare, der durch dessen gleichzeitige Flexions- und Abductionsbewegung mit dem radialen Theile der Gelenkfläche des Radius in Contact kommt, muss, hieraus zu schliessen, in der Frontal- wie Sagittalebene eine Curvatur mit dem Rotationscentrum der Abductionsbewegungen als Mittelpunkt haben.

Leider ist es nicht möglich gewesen, auf den Röntgogrammen von den Rändern der Hand eine Kenntniss von den Axen für die Flexionsbewegungen des Naviculare zu erhalten, weder bei der während der Abductionsbewegungen auftretenden Flexionsbewegung, noch bei der Dorsovolarflexion der Hand.

Nach den Röntgogrammen zu urtheilen, ist es die Fläche des Naviculare gegen den Radius, welche die Bewegung im Radiocarpalgelenke leitet. Die Curve dagegen, welche von den vereinten Gelenkflächen des Naviculare und Lunatum in den Theilen dieser Flächen gebildet wird, welche mit dem Radius in Contact kommen, hat als Centrum einen Punkt, der mehr distal liegt als *M*.

Wenn es diese ganze Fläche wäre, welche die Bewegung im Radiocarpalgelenke leitete, so würden verschiedene Rotationscentren für die beiden Carpalgelenke existiren, was den von mir oben angeführten Beobachtungen widerspricht. Mehrere übereinstimmende Erscheinungen auf den Röntgogrammen aber, verglichen mit der Form der knorpelbekleideten Gelenkflächen deuten darauf, dass es wirklich nur die proximale Fläche des Naviculare ist, welche die seitliche Rotation im Radiocarpalgelenke leitet.

Auf dem Bilde der Ulnar-Abductionsstellung (Taf. V Fig. 1) bezeichnet der Punkt *N'* die ungefähre Lage des Centrums der Curve, welche von der proximalen Contour des Naviculare und Lunatum gebildet wird, so weit sie den Radius berührt. Durch Einpassung der Radiusbilder über einander ist dieser Punkt *N₁* in derselben Lage

zum Radius auch auf dem Radial-Abductionsbilde Taf. V Fig. 2 gezeichnet worden. Der Punkt N , Taf. V Fig. 2 bezeichnet die ungefähre Lage des Mittelpunktes der von der proximalen Contour des Naviculare-Lunatum gebildeten Curve bei radialer Abductionsstellung. Der Mittelpunkt der von der Contour des Naviculare und Lunatum gebildeten Curve hat, nach diesem zu urtheilen, seine Stellung zum Radius während der Abductionsbewegung nicht beibehalten, sondern sich bei radialer Abduction in radialer Richtung im Verhältniss zum Radius verschoben. Dieser Punkt würde also nicht das Rotationscentrum für das Radiocarpalgelenk bilden können.

Mit vollem Recht lässt sich aber dagegen einwenden, dass es möglich ist, dass der Punkt N nicht recht gewählt ist, da dessen Lage schwer zu bestimmen ist nur mit Hülfe der Knochencontour des Naviculare-Lunatum, sondern dass das Rotationscentrum sich an anderer Stelle befinde, distal von M , oder dass vielleicht kein festes Rotationscentrum für das Radiocarpalgelenk existire. Es giebt indess weitere Gründe sowohl dafür, dass nicht die gemeinsame Fläche des Naviculare-Lunatum, sondern das Naviculare allein die Bewegung leitet, als dafür, dass ein festes Rotationscentrum existirt.

Es ist möglich, dass der Mittelpunkt der Curve, welche die vereinten Flächen des Naviculare-Lunatum in den Theilen derselben repräsentirt, welche mit dem Radius in Contact kommen, anderswo als im Punkte N liegt; wie es aber leicht mit einem Zirkel zu constatiren ist, kann dieser Punkt diesen Flächen nicht näher liegen als N .

Nehmen wir dann an, dass N das Rotationscentrum (= die Projection der Axe der Rotationsfläche) für das Radiocarpalgelenk bei den Abductionsbewegungen ist, so ist dieses Centrum — unter der Voraussetzung, dass die vereinten Flächen des Naviculare-Lunatum die Bewegung leiten — mit Sicherheit den Gelenkflächen nicht zu nahe gelegt.

Fig. 2 veranschaulicht, wie die Stellung von den Gelenkflächen des Intercarpalgelenkes zum Radius unter dieser Voraussetzung sich bei ulnarer und radialer Abduction, auf die Frontalebene projicirt, in Fall IVb gestalten würde. In diesem Falle ist der Ausschlag des ganzen Gelenkes 44° . Der Ausschlag des Intercarpalgelenkes hat sich 35° zu sein erwiesen und ist in gewöhnlicher Weise berechnet (siehe S. 187) unter der Annahme, dass M das Rotationscentrum des Intercarpalgelenkes bildet. Der Ausschlag des Radiocarpalgelenkes muss dann 9° betragen. In der Figur bezeichnen *rad.* die Gelenkfläche des Radius und *nl.* die Fläche des Naviculare-Lunatum gegen den Radius. Die Punkte N und M sind in derselben Entfernung (8^{mm}) von einander wie auf den Röntgogrammen

angebracht. Desgleichen sind die Halbmesser der Gelenkflächen (die Entfernung zur Knochencontour) dieselben wie auf den Röntgogrammen (8 und 28 mm). Die Linie 1 bis I bezeichnet eine gewisse, bei Ulnar-Abduktionsstellung der Hand durch das Rotationscentrum des Intercarpalgelenkes gezogene Normale zu nl . Die Rotationsfläche des Intercarpalgelenkes (die Rotationsfläche des Capitatum), nimmt nun zum Radius die Lage ct_1 ein. Nach einer Rotation im Radiocarpalgelenk von 9° um den Punkt N nimmt die gegebene Normale zur Gelenkfläche des Naviculare-Lunatum die Lage II ein, und die Rotationsflächen des Intercarpalgelenkes werden in die Lage ct_2 versetzt.

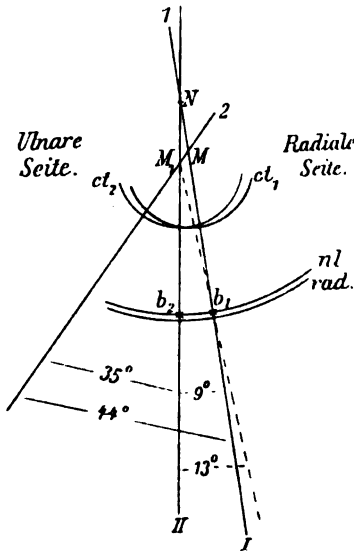


Fig. 2.

Ogleich der Radius während der Bewegung fest bleibt, **schneidet** das Projektionsbild der Rotationsflächen des Intercarpalgelenkes in Ulnar-Abduktionsstellung — unter den nun gegebenen Voraussetzungen — deren Projektionsbild in der Radial-Abduktionsstellung, wie die Figur zeigt.

Es ist leicht einzusehen, dass die Projektionen der Rotationsflächen des Intercarpalgelenkes, nur wenn ein gemeinsames Rotationscentrum für beide Gelenke existiert, nach einer

Excursion im Radiocarpalgelenk zu-

sammenfallen können; ich habe indess dieses Bild mitgeteilt, um zu zeigen, dass schon bei einem Ausschlage von 9° im Radiocarpalgelenke eine leicht bemerkbare Abweichung zwischen den Projektionen der Gelenkflächen des Intercarpalgelenkes in den beiden Handstellungen eintreten würde, wenn die vereinten Flächen des Naviculare-Lunatum die Bewegung im Radiocarpalgelenk leiteten.

Zum Vergleich hiermit sei Taf. V Fig. 4 mitgeteilt. Dieselbe ist so erhalten, dass die Bilder der Ulnar- und Radial-Abduktionsstellung (Taf. V Figg. 1 und 2) in Fall IV *b* über einander angebracht sind, so dass die Contouren der Vorderarmknochen einander decken. Darauf sind beide Bilder in eine Figur gezeichnet. Die Contouren der Ulnar-Abduktionsstellung sind mit ausgezogenen Linien, die der Radial-Abduktionsstellung mit punktierten Linien gezeichnet. Wo die Contouren

zusammenfallen, sind sie nur durch eine ausgezogene Linie gekennzeichnet. Auf der Figur sieht man, wie gut die Vorderarmknochen ihre Contour bewahrt haben. Hier kann bei der Einpassung kaum eine Ungewissheit in Frage kommen.

Wenn wir nun die Projectionen der Gelenkfläche des Capitatum in den beiden Handstellungen betrachten, so zeigt es sich, dass die Contouren der beiden Projectionsbilder längs einer (zwischen den auf der Figur angebrachten Kreuzen befindlichen) Strecke zusammenfallen, die einer Corda von 8^{mm} Länge entspricht. Hierdurch werden die vorher gemachten Berechnungen, nach welchen die beiden Carpalgelenke ein gemeinsames Rotationscentrum haben, vollkommen bestätigt. Dessen Lage befindet sich im Centrum der auf den beiden Projectionsbildern des Capitatum gemeinsamen Kreislinie, d. h. im Punkte *M*.

Die zusammenfallenden Partien auf den Projectionsbildern des Capitatum sind: auf dem Radial-Abductionsbilde der proximale Theil der radialen Fläche, auf dem Ulnar-Abductionsbilde die radialen zwei Drittel der proximalen Fläche.

Aus Fig. 2 S. 224 geht auch hervor, welche Differenzen bei Bestimmung der Theilnahme der beiden Gelenke an der Abductionsbewegung entstehen würden, wenn die Ausschläge des Radiocarpalgelenkes vom Punkte *M* aus berechnet würden, die Bewegung factisch aber um eine Axe erfolgte, die durch den Mittelpunkt einer Curve liefe, die von den vereinten Flächen des Naviculare-Lunatum gebildet wird.

Wenn z. B. die Verchiebung des Punktes *b* (Fig. 2) an der proximalen Carpalreihe in Graden berechnet würde, ausgehend von *M* als Rotationscentrum, dann würde man für das Radiocarpalgelenk eine Excursion von 13° erhalten, wenn die wirkliche Bewegung 9° war. Die Summe der Excursionen beider Gelenke würde also von dem gefundenen Ausschlage der Bewegung des ganzen Gelenkes um 4° abweichen. Aus der Fig. 4 Taf. V, verglichen mit den Figg. 1 und 2 auf derselben Tafel ist indes zu ersehen, wie gut die für die beiden Gelenke besonders gefundene Excursion mit der für das ganze Gelenksystem gefundenen Bewegung stimmt.

Die in Fig. 4 Taf. V im Radiocarpalgelenk mit Roth gezogene Kreislinie mit *M* als Mittelpunkt läuft parallel mit der proximalen Fläche des Naviculare in den Theilen, welche den Radius berühren, bis zu dem Punkte, bei welchem sich diese Fläche erhebt, um die Leiste

zu überschreiten, die proximale Contour des Lunatum aber wird von derselben geschnitten, so dass ein keilförmiger Sector des Lunatum, Spitze radialwärts, ausserhalb dieser Kreislinie läuft.

Sehen wir dann nach, ob die Gelenkfläche des Radius eine Form zeigt, welche eine Rotation der proximalen Carpalreihe gegen dieselbe um eine Axe zulässt, welche durch einen Punkt läuft, der so wie das gefundene Rotationscentrum M liegt, ohne dass die von einer entsprechenden Bewegungsbahn abweichende proximale Fläche des Lunatum die Bewegung hindert.

Prüft man auf einem Frontalschnitt durch die Mitte der knorpelbekleideten proximalen Gelenkfläche des Radius die auf beiden Seiten der Leiste gelegenen Partien der Gelenkfläche, so ist es deutlich, dass diese je einen verschiedenen Krümmungshalbmesser haben. Der radiale Theil

hat einen kürzeren Krümmungshalbmesser als der ulnare, dessen Centrum auch mehr ulnarwärts liegt.

Auf der Copie des frontalen Sägeschnittes durch einen knorpelbekleideten Radius (Fig. 3) bezeichnet Punkt L den Höhepunkt der Leiste. Punkt e giebt die Stelle an, wo die Leiste anfängt, sich über die radiale Abtheilung der Fläche des Radius zu erheben, und die Kreislinie n läuft in der Contour des radialen Theiles der Gelenkfläche des Radius, welche eine Kreislinie mit dem Punkte M als Mittelpunkt bildet.

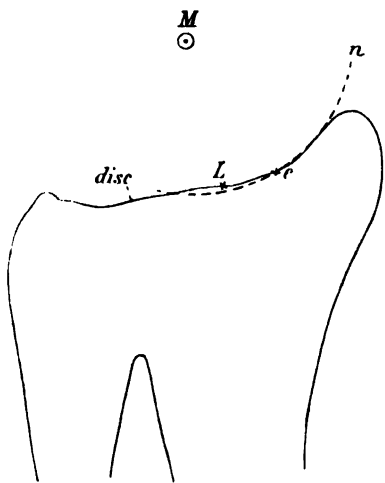


Fig. 3.

Bei Vergleich der Fig. 3 Taf. V und Fig. 3 tritt die Uebereinstimmung zwischen der Contour der Radiusfläche auf dem Frontalschnitt und dem Projectionsbilde auf dem Röntgogramme hervor. Die Lage des Punktes M Fig. 3 auf dem Frontalschnitte entspricht auch gut der Lage des auf dem Röntgogramme gefundenen Rotationscentrums für die Abduktionsbewegungen (M Taf. V Fig. 2).

Der Krümmungshalbmesser für den radialen Theil der Radiusfläche (gerechnet von M bis zur Knorpelfläche) ist auf dem Frontalschnitte des Radius (Fig. 3) 21 mm. In den radiographirten Fällen ist die Entfernung vom Rotationscentrum bis zum radialen Theile

der Gelenkfläche des Radius in Fall I 19 mm, in Fall II 18 mm, in Fall III 21.5 mm, in Fall IV 21 mm, in Fall V 20.5 mm.

Die Kreislinie n Fig. 3 S. 226 lässt zwischen sich und dem ulnaren Theile der Gelenkfläche des Radius einen keilförmigen Raum mit der Spitze radialwärts. Nach meinem Dafürhalten entspricht dieser Raum dem keilförmigen Segment des Lunatum, welches ausserhalb der Fortsetzung der Rotationsfläche des Naviculare gegen den Radius (siehe Taf. V Fig. 4) liegt. Die im Radiocarpalgelenke gezogene (rothe) Kreislinie mit M als Mittelpunkt schneidet bei Ulnar-Abductionsstellung der Hand die proximale Fläche des Lunatum ungefähr auf der Grenze von dessen radialem Drittel oder etwas mehr radialwärts. Das radiale Drittel (Viertel) der proximalen Fläche des Lunatum kann also auf die Leiste gleiten.

In den übrigen Fällen nimmt auch die proximale Fläche des Lunatum ungefähr dieselbe Stellung zum Naviculare ein. Die Form des Lunatum wechselt indess etwas, so dass die Projection seiner proximalen Fläche eine stärkere Krümmung zeigen kann, als wie wir in dem abgebildeten Falle sehen (so in Fall I, wo die Krümmung der proximalen Contour des Lunatum sich sehr einer Kreislinie mit dem Rotationscentrum als Mittelpunkt nähert). Dabei wird das keilförmige Segment des Lunatum, welches ausserhalb der Bahn des Naviculare gegen den Radius fällt, niedriger, was mit einer entsprechenden stärkeren Krümmung der Gelenkfläche des Radius im Ganzen zusammenhängen dürfte.

Bei extremer ulnarer Abduction steht die proximale Fläche des Lunatum im Ganzen oder bis auf wenige Millimeter von deren ulnarer Kante mit der ulnaren Abtheilung der Gelenkfläche des Radius im Contact.

Bei der Streckstellung der Hand steht die proximale Fläche von ungefähr dem halben Lunatum über dem Radius, und bei radialer Abduction befindet sich nur das radiale Drittel — etwas mehr oder etwas weniger in ungleichen Fällen — über dem Radius.

Obgleich die proximale Carpalreihe, wie gezeigt worden, sich gegen den Radius längs einer Bahn bewegt, die nicht in der Frontalebene mit der Krümmung der proximalen Fläche des Lunatum und der ulnaren Abtheilung der distalen Fläche des Radius zusammenfällt, behält doch das Lunatum, wie die Röntgogramme zeigen, während der Bewegung von ulnarer zu radialer Abduction mit dem Radius Contact. Wenn die Entfernung vom Rotationscentrum zur Contactfläche des

Lunatum mit dem Radius während der Abductionsbewegung unverändert bliebe, wäre dies eine Unmöglichkeit, weil zufolge der Rotation der proximalen Carpalreihe bei radialer Abduction von der Ulnar-Abductionsstellung aus, das Lunatum vom Radius abgehoben würde.

Durch die mit der Radialabduction gleichzeitige Flexion des Lunatum zwischen dem Radius und dem Capitatum wird aber die Höhe der zwischen Radius und Capitatum befindlichen Partie des Lunatum vergrößert, so dass das Lunatum fortfahrend Contact mit dem Radius behält.

Aus den Röntgogrammen von den Dorsal- und Volarflexionsstellungen der Hand geht hervor, dass die Dorso-Volarflexion zwischen dem Capitulum und Lunatum um eine Axe ausgeführt wird, die durch das Capitulum Capitati in gleicher Höhe mit der Axe für die Abductionsbewegungen läuft und also diese Axe schneidet. Die distale Fläche des Lunatum bleibt deshalb trotz der Dorso-Volarflexion während der Abductionsbewegungen in derselben Entfernung von der Axe für die Abductionsbewegungen. Die Entfernung zwischen der distalen und proximalen Fläche des Lunatum ist indess verschieden längs jeder Normalen der vorigen Fläche, weshalb bei Rotirung das Lunatum in dorso-volarer Richtung zwischen dem Capitulum und Radius die Entfernung

von der Axe für die Abductionsbewegungen zu der Contactfläche des Lunatum mit dem Radius in jedem Moment der Bewegung verschieden ist.

Wie aus den Röntgogrammen hervorgeht (S. 240), bewegt sich das Lunatum gegen den Radius in der Sagittalebene um eine Axe, die in gleicher Höhe mit dem tiefsten Theile der distalen Fläche des Lunatum verläuft. Die Figg. 4 und 5 zeigen Copien eines Sagittalschnittes durch einen Gipsabguss von einem knor-

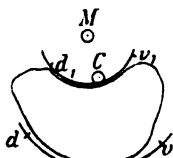


Fig. 4.

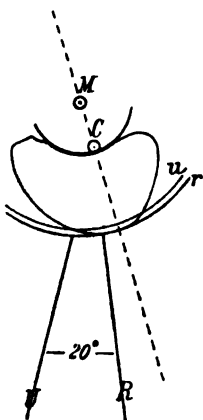


Fig. 5.

pelbekleideten Lunatum in dessen radialem Theil. Der Punkt *M* ist der Mittelpunkt für die Krümmung der distalen Gelenkfläche in der Sagittalebene, und der Punkt *C* ist das Centrum für den mittelsten, grösseren Theil der Krümmung der proximalen Gelenkfläche in der Sagittalebene. Siehe Fig. 4, wo die Kreislinie *d-v* mit *C* als Mittel-

punkt und die Kreislinie $d_1 - v_1$ mit M als Mittelpunkt gezogen ist! Die Entfernung zwischen den distalen und proximalen Flächen des Lunatum ist in einer Partie des volaren Theiles des Lunatum am grössten und nimmt von da sowohl volar- wie dorsalwärts ab.

In Fig. 5 sind die Linien U und R durch zwei Punkte auf der proximalen Fläche des Lunatum gezogen, welche sich 20° von einander entfernt befinden, gerechnet vom Punkte C — die Volarflexion des Lunatum gegen den Radius bei Radialabduction ist in dem untersuchten Falle etwa 20° .

Die Kreislinien u und r sind, mit M als Mittelpunkt, durch die Schnidepunkte der Linien U und R auf der proximalen Fläche des Lunatum gezogen. Die Entfernung zwischen den Kreislinien u und r ($= 1 \text{ mm}$) giebt den Unterschied zwischen der Entfernung dieser Punkte von M an, das in gleicher Höhe mit der Axe für die Abductionsbewegungen liegt.

Bei ulnarer Abduction (Taf. VI Figg. 8 und 10) ist nun das Lunatum dorsal gegen den Radius flectirt, und dessen niedrige, dorsale Partie befindet sich zwischen dem Capitatum und Radius.

Bei radialer Abduction (Taf. VI Figg. 9 und 11) rotirt das Lunatum in volarer Richtung zwischen dem Capitatum und dem Radius, so dass immer höhere Partien desselben zwischen diese Knochen eingeschoben werden, denn die Volarflexion wird nicht so weit getrieben, dass die vorderste niedrigere Partie des Lunatum zwischen das Capitatum und den Radius geschoben wird, wie aus den Figuren hervorgeht.

Gleichzeitig, dass das Lunatum durch die radiale Abduction vom Radius abgehoben wird, gleitet es durch die Volarrotation gegen den Radius wie ein Keil von vorn zwischen das Capitatum und den Radius ein und behält auf diese Weise den Contact mit beiden bei.

Auf den Röntgogrammen bemerkt man die bei radialer Abduction gesteigerte Höhe der zwischen dem Capitatum und Radius befindlichen Partie des Lunatum durch eine Zunahme in der Höhe des Projectionsbildes.

Die Entfernung der proximalen Fläche des Capitatum zur proximalen Fläche des Lunatum ist in sämtlichen Fällen auf dem Radialabductionsbilde 1 bis 1.5 mm grösser als auf dem Ulnarabductionsbilde. Dies tritt in Fig. 4 Taf. V hervor, wo das Radial- und Ulnarabductionsbild über einander gezeichnet sind, so dass die Contouren des Radius zusammenfallen. Die proximale, radiale Ecke des Lunatum erhebt sich bei der Ulnarabductionsstellung 2 mm über die im

Radiocarpalgelenke — mit dem Rotationscentrum *M* als Mittelpunkt — roth gezogene Kreislinie. Bei der Radialabductionsstellung steht diese Ecke nur $\frac{3}{4}$ mm über der Kreislinie. Ferner sieht man, wie durch die Zunahme der Höhe des Lunatumkörpers bei radialer Abduction der Contact mit dem Radius bewahrt wird, indem der radiale Theil der proximalen Fläche des Lunatum gegen den Theil der Gelenkfläche des Radius ruht, der bei der ulnaren Abduction von dem mittelsten Theile der proximalen Fläche des Lunatum eingenommen wurde. In Taf. V Fig. 7, wo die Bilder des Lunatum bei ulnarer und radialer Abduction der Hand über einander eingestellt sind, so dass die Seitencontouren zusammenfallen und die Rotationscentra *M* über einander stehen, ist auch die grössere Höhe des Lunatumkörpers bei der radialen Abduction zu sehen.

Dadurch, dass die radiale Fläche des Lunatum nicht in die Sagittalebene gestellt ist, sondern deren proximale Kante schräg von hinten und von ulnarer Seite, nach vorn und in radialer Richtung verläuft, wird durch die, mit der radialen Abduction gleichzeitige, Volarflexion des Lunatum gegen den Radius dessen Contactfläche mit dem Radius radialwärts ein wenig verlängert. Dies giebt sich nicht auf den Röntgogrammen zu erkennen, da die Breitenprojection des Lunatum hierdurch nicht vergrössert wird.

Alle die nun angeführten Facta deuten darauf, dass die Bewegung im Radiocarpalgelenk von der radialen Abtheilung der distalen Gelenkfläche des Radius und den Theilen der proximalen Fläche des Naviculare geleitet wird, die mit derselben in Contact kommen.

Die Leiste auf der Gelenkfläche des Radius erhebt sich über die für die Abductionsbewegungen bestimmende radiale Rotationsfläche des Radius, und die ulnarwärts von der Leiste liegende Abtheilung der distalen Gelenkfläche des Radius senkt sich unter diese Rotationsfläche.

In Folge davon, dass sowohl die Contactfläche des Lunatum als die des ulnaren Theiles des Naviculare mit dem Radius während der Abductionsbewegung durch die gleichzeitige Rotation der proximalen Carpalreihe in der Sagittalebene die Form verändern, wird es der proximalen Carpalreihe möglich, unter beibehaltenem Contact mit sowohl der ulnaren als radialen Abtheilung der Gelenkfläche des Radius gegen den Carpus, bei den Abductionsbewegungen der Hand um eine durch das Centrum des Capitulum Capitati laufende feste, sagittale Axe zu rotiren.

Die dorso-volare Rotation der proximalen Carpalreihe zwischen der distalen Carpalreihe und dem Radius ist also von Bedeutung, und zwar nicht nur, um die Randpartien der Gelenkpfanne des Intercarpalgelenkes zu senken und so die Beweglichkeit in diesem Gelenke zu vermehren, sondern auch dadurch, dass sie eine allmähliche Formveränderung von dem Gelenkköpfe des Radiocarpalgelenkes bewirkt, wodurch dieses Gelenk, trotz der unregelmässigen Form der Gelenkflächen, bei den Abductionsbewegungen functionirt, als ob die gesammten Gelenkflächen exacte Rotationsflächen bildeten.

IV. Volar- und Dorsalflexion der Hand.

1. Flächenansichten von der Dorsal- und der Volarflexionsstellung der Hand.

Taf. VI Fig. 12 zeigt eine rechte Hand in Dorsalflexion, gesehen von volarer Seite (diese Seite nach der Platte). Das Bild ist umgekehrt, so dass es aussieht wie eine linke Hand, um den Vergleich mit der folgenden Figur zu erleichtern. Taf. VI Fig. 13 giebt dieselbe Hand in Volarflexion wieder, gesehen von der dorsalen Seite. Diese rechte Hand ist die derselben Person, deren linke Hand bei der Schilderung der Abductionsbewegungen unter der Benennung Fall IV wiedergegeben ist (Taf. V Figg. 1 bis 3). Die Röntgogramme sind in der Weise aufgenommen, wie auf Seite 171 angegeben wurde. Ein directer Vergleich der Detailveränderungen Seitens der Contour der Knochen, um daraus auf kleinere Bewegungen zwischen den einzelnen Knochen zu schliessen, lässt sich hier natürlich nicht machen. Diese Röntgogramme aber können über die Stellung der ganzen Carpalreihen unter einander in der Frontalebene bei der Dorsal- und der Volarflexionsstellung der Hand Aufklärung geben. Bei der Radiographirung der Dorsalflexionsstellung (Taf. VI Fig. 12) ist die gesammte Hand etwas mehr ulnar abducirt gewesen als bei der Aufnahme des Volarflexionsbildes (Taf. VI Fig. 13). Dies giebt sich dadurch zu erkennen, dass die Mittelhandknochen auf dem Dorsalflexionsbilde grössere Neigung nach der ulnaren Seite haben als auf dem Volarflexionsbilde. Diese ulnare Abduction der Hand ist durch eine Rotation im Radiocarpal- und Intercarpalgelenke zu Stande gekommen. Wir sehen, wie z. B. das Lunatum sich ein wenig radialwärts gegen den Radius und das Capitatum sich radialwärts gegen das Lunatum verschoben hat. Die

beiden Carpalreihen haben sich in derselben Richtung bewegt, und diese Bewegung giebt sich durch eine Bewegung der ganzen Hand zu erkennen. Eine durch die Hauptbewegung der Hand — die Dorso-Volarflexion — verursachte seitliche Mitbewegung zwischen den Carpalreihen, welche von einer entgegengesetzten Bewegung zwischen der proximalen Carpalreihe und dem Radius compensirt werden sollte, tritt auf den Röntgogrammen von der Dorsal- und Volarflexionsstellung der Hand, aufgenommen in sagittaler Richtung, nicht hervor.

Noch eine Hand habe ich mit gleicher Anordnung und übereinstimmendem Resultat röntgographirt.

2. Randbilder von den Volar- und Dorsalflexionsstellungen der Hand.

Die distale Carpalreihe.

Ob in der distalen Carpalreihe eine Bewegung zwischen den einzelnen Knochen von der Dorso-Volarflexion hervorgerufen wird, ist nach meinen Röntgogrammen nicht zu entscheiden möglich. Die Flächenansichten sind nicht gleichförmig genug radiographirt, als dass man irgend welche diesbezügliche Schlüsse ziehen könnte, und auf den Randbildern treten die Knochen der distalen Carpalreihe nicht mit genügend distincten Contouren hervor, um nach diesen Bildern ein Urtheil fällen zu können. Diese Frage lasse ich also offen.

Die proximale Carpalreihe.

Ueber die proximale Carpalreihe geben vor Allem die ulnaren Randbilder (Taf. VII Figg. 14 bis 16) eine Reihe von Aufschlüssen. Da ich nur von einem Falle anwendbare Röntgogramme von der ulnaren Seite der Hand bei ihrer Dorsal- und Volarflexion habe, und also nicht durch Vergleiche die Bilder der ulnarwärts liegenden Knochen controliren kann, will ich versuchen, die Bedeutung der eintretenden Contourveränderungen etwas näher zu erörtern.

Bei dem Studium dieser Bilder ist dann zu merken, dass die Vorderarmknochen auf den Röntgogrammen von dem Volar- und dem Dorsalflexionsbilde der Hand ihre gegenseitige Lage behalten und auch beide Projectionsbilder gegeben haben, welche auf den beiden Bildern, mit sehr geringen Abweichungen auf kleineren Partien der

Contour, zusammenfallen. In Taf. VII Fig. 20 sind die Contouren der Vorderarmknochen auf dem Volar- und dem Dorsalflexionsbilde über einander gezeichnet. Die Contouren der Vorderarmknochen auf dem Volarflexionsbilde sind mit ganz ausgezogenen Linien, auf dem Dorsalflexionsbilde dagegen mit punktirten bezeichnet. Die Veränderungen, welche die Contouren der Vorderarmknochen erlitten haben, und die in Taf. VII Fig. 20 zu sehen sind, deuten auf eine Rotation des Vorderarmes in supinatorischer Richtung beim Uebergehen der Hand von Dorsal- zu Volarflexion. — Mit einem Skelettpräparat des Vorderarmes kann man sich leicht überzeugen, welche merkbare Veränderung der Projectionsbilder der Vorderarmknochen selbst die geringste Rotation zwischen den Vorderarmknochen oder Rollung des Armes bei der Armstellung hervorruft, die bei dieser Radiographirung benutzt worden ist. Es muss daher eine sehr unbedeutende Rollung des Vorderarmes sein, die eine so geringe Contourveränderung der Vorderarmknochen bewirkt hat.

Stellt man die Bilder des Capitatum über einander ein, so fallen die Contouren der proximalen Gelenkfläche zusammen. Der distale Theil der dorsalen Contour auf dem einen Bilde fällt ebenfalls über die entsprechende Contour auf dem anderen Bilde, desgleichen die dorsale Contour des mit dem Capitatum vereinten Metacarpale III (met. III Taf. VII Figg. 14 und 16). Auf dem proximalen Theile der dorsalen Partie des Capitatum aber laufen die Contouren aus einander, so dass die Contour auf dem Dorsalflexionsbilde auf der Stelle, wo die Linien am weitesten geschieden sind, 1^{mm} weiter dorsalwärts liegt als auf dem Volarflexionsbilde. Die Contouren laufen an der Grenze der proximalen Gelenkfläche und im distalen Theile der dorsalen Contour des Capitatum wieder zusammen. Die Partien der volaren Contour des Capitatum, welche hervortreten, fallen zusammen.

In Taf. VII Fig. 20 sind die Bilder des Lunatum bei der Dorsalflexionsstellung (gezeichnet mit punktirten Linien) und bei der Volarflexionsstellung (gezeichnet mit ausgezogenen Linien) über einander eingepasst. Auf den beiden Projectionsbildern des Lunatum fallen, wie zu sehen, die volaren und proximalen Contouren, wie der dorsale Theil der Contour der distalen Gelenkfläche zusammen. Mit Hülfe dieser Contouren sind im Folgenden analoge Punkte auf den beiden Projectionsbildern des Lunatum bestimmt. Der dorsale Theil der Contour der proximalen Gelenkfläche ist nicht auf beiden Bildern gleich, indem auf dem Dorsalflexionsbilde diese Contour dorsalwärts von der entsprechenden Contour auf dem Volarflexionsbilde fällt, die grösste Entfernung zwischen

ihnen ist etwa 1^{mm}. Die dorsale Contour des Lunatum ist auf den Röntgogrammen sehr schwer zu finden, denn auf dem Gebiete, wo sie zu suchen ist, laufen die Contouren von Lunatum, Naviculare und Triquetrum zusammen. Eine in ihrer ganzen Ausdehnung deutliche Contour von der dorsalen Fläche des Lunatum ist nicht zu finden. Es sind zwei stellenweise hervortretende Contouren zu sehen, die am dorsalen Rande der distalen Gelenkfläche des Lunatum zusammenlaufen. Möglicher Weise repräsentiren sie den ulnaren und radialen Rand der dorsalen Fläche des Lunatum. Vielleicht bildet die eine von ihnen den dorsalen Theil der proximalen Contour des Naviculare. Bei Einstellung der beiden Projectionsbilder des Lunatum über einander mit Hilfe der proximo-volaren Contour verlaufen eben erwähnte Contouren in der Nähe des dorsalen Randes des Lunatumbildes auf dem einen Bilde über die entsprechenden Contouren auf dem anderen Bilde.

Der vordere Theil von der Contour der distalen Gelenkfläche des Lunatum liegt auf dem Dorsalflexionsbilde etwas tiefer als auf dem Volarflexionsbilde. Da die Contouren sonst gut übereinstimmen, dürfte die Contour, welche auf dem ersteren Bilde hervortritt, nicht der auf dem letzteren Bilde sichtbaren entsprechen, sondern es repräsentirt wahrscheinlich die in Frage stehende Contour auf dem Volarflexionsbilde eine Projection der distalen Gelenkfläche des Lunatum, während auf dem Dorsalflexionsbilde die ulnare Kante der distalen Gelenkfläche hervortritt, die in der nicht abducirten Hand tiefer als die Gelenkfläche sonst steht.

Dass ich auf den Röntgogrammen die Contouren des Capitatum und des Lunatum wiedergefunden und deren betreffende Bilder auf den Röntgogrammen richtig über einander eingestellt habe, wird indirect dadurch dargethan, dass es gelungen ist, auf den Röntgogrammen einen während der Bewegung zwischen dem Capitatum und dem Lunatum auf den Projectionsbildern unverrückten Punkt und ebenso einen bei der Rotation des Lunatum gegen den Radius im Verhältniss zu den Projectionsbildern der beiden Knochen unbeweglichen Punkt zu finden.

Sowohl die Veränderungen, welche das Bild des Capitatum durchgemacht, als die Verschiedenheiten in den beiden Bildern des Lunatum deuten eine Rotation der Hand in supinatorischer Richtung bei dem Uebergange von dorsaler zu volarer Flexion an. Durch Contourveränderungen, welche auf den in den Randpartien der Hand liegenden Knochen eingetreten sind, giebt sich auch eine solche Bewegung zu erkennen.

Bei einer Einstellung der Capitatumbilder auf den beiden Röntgo-

grammen (Taf. VII Figg. 14 und 16) über einander, wenn auch die dorsalen Contouren des dritten Metacarpalknochens zusammenfallen — die volare tritt nicht hervor —, verläuft die volare Contour des zweiten Metacarpalknochens (met. II Taf. VII Figg. 14 und 16) auf dem Volarflexionsbilde parallel mit der entsprechenden Contour auf dem Dorsalflexionsbilde, ist aber 4^{mm} näher dem volaren Rande des Capitatum (in dorsaler Richtung) verschoben. Der volare Rand des Hamulus Hamati ist dagegen auf dem Volarflexionsbilde 3^{mm} weiter ab (mehr volarwärts) vom Capitatum projicirt, und die dorsale Contour des Hamatum hat sich der dorsalen Contour des Capitatum 3^{mm} näher (mehr volarwärts) als auf dem Dorsalflexionsbilde gerückt.

Beim Uebergehen der Hand von dorsaler zu volarer Flexion hat sich also die ulnare Kante der Handwurzel auf den Röntgogrammen 3^{mm} volarwärts, deren radiale Kante 4^{mm} dorsalwärts im Verhältniss zur Längsaxe (Capitatum und Metacarpale III) der Hand verschoben. Hieraus geht hervor, dass die Hand beim Uebergehen von dorsaler zu volarer Flexion in supinatorischer Richtung rotirt hat.

Auf der proximalen Carpalreihe zeigt sich ein gleichbedeutendes Phänomen. Die Contouren der vereinten Triquetrum-Pisiforme sind im Verhältniss zum Lunatum bei der Volarflexion 3^{mm} weiter volarwärts projicirt worden als bei der Dorsalflexion. Man vergleiche auf Taf. VII Fig. 14 und Fig. 16 die Entfernung von der volaren Contour des Triquetrum bis zum Punkte C auf dem Lunatum! Die Längsaxe des Triquetrum hat dieselbe Neigung zur volaren Contour des Lunatum beibehalten. Die Verschiebung ihres Projectionsbildes beruht folglich nicht auf einer Rotation in volarer Richtung Seitens des Triquetrum gegen das Lunatum, sondern bestätigt, dass die Hand, wie aus der Verschiebung der Seitencontouren der distalen Carpalreihe hervorgeht, beim Uebergehen von dorsaler zu volarer Flexion in supinatorischer Richtung rotirt hat. Die dorso-volare Verschiebung der Contour des Naviculare in Folge dieser Rollung lässt sich auf den Röntgogrammen nicht berechnen, weil das Naviculare, wie näher beschrieben werden soll, in der Sagittalebene gegen das Lunatum rotirt ist.

In Folge der eintretenden Vergrösserung zeigen sich die Contourverschiebungen auf den Röntgenbildern grösser, als sie sich auf einer rechtwinkligen Projection zeigen sollten. Das Metacarpale II befand sich bei der Radiographirung in ungefähr 7^{cm} Entfernung von der Platte. Der Abstand der Antikathode zur Platte war 40^{cm}. Die Verschiebung des Metacarpale II im Verhältniss zur Längsaxe der Hand,

die auf den Röntgogrammen 4 mm zu sein scheint, würde auf einer orthogonalen Projection 3.3 mm betragen. Die Entfernung vom Hamulus Hamati zur Platte war ungefähr 3 cm . Auf einer rechtwinkligen Projection würde die Verschiebung seiner Contour wenig geringer als auf den Röntgogrammen gewesen sein, nämlich 2.8 mm betragen. Es muss eine äusserst geringe Rollung der Hand sein, welche auf einer Projection in der Sagittalebene die Ränder der Handwurzel nur etwa 3 mm verschiebt. Dass die Projectionen des Capitatum und des Lunatum, trotz einer zwar geringen Rollung, so unbedeutende Veränderungen erleiden, dürfte theils durch deren Lage in der Mitte der Handwurzel, theils durch deren Form zu erklären sein.

Es ist schwer, um nicht zu sagen unmöglich, zu entscheiden, ob die Rollung der Hand nur durch die Rollung des Vorderarmes entstanden ist, oder ob daneben eine Rotation im Handgelenke stattgefunden hat. — Die von der Hand um eine Längsaxe ausgeführte Rotation hat indess Projectionsveränderungen der proximalen wie der distalen Carpalreihe hervorgerufen, welche also beide rotirt haben. Ob beide in gleich hohem Grade rotirt haben, oder ob auch zwischen den beiden Carpalreihen eine Rotation stattgefunden, ist durch die Röntgogramme sicher zu entscheiden nicht möglich, da aber die Verschiebung des Hamulus Hamati im Verhältniss zum Capitatum und die Verschiebung des Triquetrum gegen das Lunatum auf den Röntgogrammen ungefähr gleich gross ist, darf indess angenommen werden, dass, sofern eine Rotation zwischen der Hand und dem Vorderarm stattgefunden, diese Rotation, zum grössten Theil wenigstens, im Radiocarpalgelenk ausgeführt worden ist.

Ich habe mich bei den Veränderungen auf den Röntgenbildern, welche zusammengestellt eine Rotation der ganzen Hand angeben, länger aufgehalten, damit bei der Prüfung der Bewegung der einzelnen Knochen gegen einander die durch die Rollung der ganzen Hand verursachten Veränderungen in der Lage der Knochen auf dem Röntgenbilde keine falsche Auffassung von deren gegenseitigen Stellungsveränderungen bringen werden.

Das Triquetrum. Die Verschiebung der Contour des Triquetrum in dorso-volarer Richtung im Verhältniss zum Lunatum beim Uebergehen der Hand von dorsaler zu volarer Flexion ist, wie gezeigt, vermuthlich durch eine Rotation der ganzen Hand hervorgerufen. Ob ausserdem eine kleine Bewegung zwischen dem Triquetrum und dem Lunatum in dieser oder in entgegengesetzter Richtung stattfindet, welche Verschiebung durch die von der Rollung der Hand verursachte Contourverschiebung verdeckt wird, ist nicht zu entscheiden möglich.

Das Triquetrum scheint in demselben Grade wie das Lunatum an der Flexionsbewegung Theil zu nehmen. Eine Bewegung um eine frontale Axe scheint also zwischen diesen Knochen nicht vorzukommen. Sowohl in Streckstellung, wie Volar- und Dorsalflexionsstellung behält nämlich die volare Contour des Triquetrum dieselbe Neigung gegen die auf den Projectionsbildern des Lunatum analog gelegten Linien I (Taf. VII Fig. 14), II (Taf. VII Fig. 15) und III (Taf. VII Fig. 16).

Aus dem, was H. Virchow auf Skelettgefrierpräparaten und Röntgenbildern dargethan, wissen wir, dass das Triquetrum nur mit der volaren, in sagittaler Richtung concaven, Facette ihrer distalen Fläche mit der entsprechenden Fläche auf dem Hamatum in Berührung kommt, während sich ein Spalt zwischen der dorsalen Facette des Triquetrum und dem Hamatum vorfindet. Ferner befinden sich die volaren Kanten der beiden Knochen erst bei extremer ulnarer Abduction im Contact mit einander, und erst bei dieser Stellung ist der ulnarste Theil der Gelenkfläche des Hamatum im Contact mit dem Triquetrum. Bei radialer Abduction steht die distale Hälfte der ulnaren Gelenkfläche des Hamatum vom Triquetrum unbedeckt, und zwischen den dorsalen Partien der Gelenkflächen befindet sich ein ulnarwärts weiter werdender Zwischenraum.

Dadurch, dass das Triquetrum und das Hamatum, wenn die Hand in die Frontalebene eingestellt ist, nur mittels ihrer volaren Facetten im Contact sind, wird zwischen diesen Knochen eine Rotation in sagittaler Richtung möglich, welche in dorsaler Richtung ausführbar ist, bis der Contact der dorsalen Facetten (Kanten) dieselbe verhindert. Bei radialer Abduction der Hand dürfte die Beweglichkeit in sagittaler Richtung zwischen dem Hamatum und dem Triquetrum am grössten sein, weil die in sagittaler Richtung convexe Facette im proximalen (radialen) Theile der ulnaren Fläche des Hamatum fast die ganze Breite der Fläche einnimmt und ulnarwärts continuirlich schmaler wird. Mit zunehmender ulnarer Abduction dürfte die Bewegung in sagittaler Richtung zwischen dem Hamatum und dem Triquetrum in erhöhtem Grade begrenzt werden, da durch die ulnare Abduction sowohl die volaren Kanten, als der distale Theil der dorsalen Kanten einander sich immer mehr nähern, obgleich die dorsalen Facetten fortwährend klaffen.

Das Pisiforme. Prüft man die Lage des Pisiforme zur volaren Contour des Triquetrum, so zeigt es sich, dass das Pisiforme bei der Volarflexionsstellung der Hand (Taf. VII Fig. 14) sich ungefähr 6^{mm} mehr proximalwärts auf der volaren Contour des Triquetrum befindet, als bei der Dorsalflexionsstellung (Taf. VII Fig. 16). Aus einem Vergleich mit dem Streckstellungsbilde (Taf. VII Fig. 15) geht hervor,

Multangula und des Naviculare stattfindet, so dass der bei Streckstellung der Hand nach hinten klaffende Zwischenraum dieser Flächen geschlossen wird. Man vergleiche auf Taf. VII Figg. 17 bis 19 die Entfernung von der dorsalen Contour des Naviculare bis zur proximalen Contour des Multangulum minus! Möglicher Weise findet auch zwischen den vorderen Partien der Gelenkflächen des Naviculare und des Multangulum majus eine Abhebelung statt (vergleiche auf der Taf. VII Figg. 17 und 19).

3. Die Projectionen auf den Röntgogrammen von den Axen der Dorsal- und Volarflexionsbewegungen.

In keinem der beiden Fälle, in denen es mir gelungen ist, gut dechiffrierbare Röntgogramme von den Dorsal- und Volarflexionsstellungen der Hand zu erhalten, hat eine mit der Flexionsbewegung gleichzeitige Rollung von Arm und Hand vollständig vermieden werden können. In Fall IV ist indess diese Rollung von so geringem Umfange, dass sowohl die Vorderarmknochen, als das Capitatum und das Lunatum, mit nur geringeren Abweichungen auf kleineren Partien der Contour, congruente Bilder auf den Röntgogrammen von der Dorsal- und Volarflexionsstellung der Hand gegeben haben. Ich habe deshalb versucht, ob auf diesen Röntgogrammen eine Kenntniss betreffend die Axen der Dorsal- und Volarflexionsbewegungen der Hand zu erhalten wäre. Die Untersuchung hat sich dabei auf die Bewegung zwischen dem Capitatum und dem Lunatum, wie dem Lunatum und dem Radius bezogen, und ich bin dabei nach derselben Methode wie beim Studium der Abductionsbewegungen zu Wege gegangen. Indess ist es nun dadurch, dass sowohl das Lunatum als das Capitatum und der Radius correspondirende Bilder gegeben, möglich gewesen, die Bewegung in den beiden Carpalgelenken gesondert zu untersuchen.

Wie gezeigt worden, nimmt das Triquetrum in demselben Grade wie das Lunatum an den Dorsal- und Volarflexionsbewegungen Theil. Ob es sich auch um eine feste Axe bewegt, und ob diese Axe in solchem Falle für das Lunatum und das Triquetrum gemeinsam ist oder nicht, kann ich nicht entscheiden, weil das Projectionsbild des Triquetrum sowohl der Form als der Lage nach von der Rollung der Hand in dem Grade beeinflusst worden ist, dass eine solche Untersuchung unmöglich gewesen ist. Derselbe Fall ist es leider mit dem Naviculare.

Das Radiocarpalgelenk.

Die Röntgogramme der Volarflexions- und der Dorsalflexionsstellung wurden über einander eingepasst, so dass die Contouren der Vorderarmknochen zusammenfielen (wie sie in Taf. VII Fig. 20 über einander gezeichnet sind). Die proximale Contour des Lunatum in der einen Stellung fiel dann mit dem Theile von derselben Contour in der zweiten Stellung zusammen, welcher die Gelenkfläche des Radius berührte. Der Mittelpunkt für die Curvatur der proximalen Fläche des Lunatum auf diesem Theile wurde mit dem Zirkel ermittelt, und es ergab sich da, dass er im Punkte *C* lag (Taf. VII Figg. 14 und 16).

Wenn man die Contouren des Lunatum bei der Dorsal- und Volarflexion über einander placirt (wie sie in Taf. VII Fig. 20 über einander gezeichnet sind), dann fallen die Punkte *C*₁ auf Taf. VII Fig. 14 und *C*₂ in Taf. VII Fig. 16 zusammen. — Sie fallen auch zusammen, wenn man die Contouren der Vorderarmknochen über einander einstellt. Der Punkt *C* bleibt während der Bewegung fest im Verhältniss zu den Projectionsbildern des Lunatum wie des Radius. Dieser Punkt bildet also die Projection der Axe für die Bewegung des Lunatum gegen den Radius.

Dieser Punkt liegt in gleicher Höhe mit dem tiefsten Theile der distalen Gelenkfläche des Lunatum.

Das Intercarpalgelenk.

Auf dem Capitatum wurde eine Linie gezogen (nicht auf den Figuren) in gleicher Lage auf beiden Bildern dieses Knochens und ungefähr 3^{cm} distal von der proximalen Fläche des Capitatum. Wenn das Capitatum sich gegen das Lunatum um eine feste, quere Axe bewegt, so wird die auf dem Projectionsbilde im Verhältniss zum Capitatum fixe Linie während der Bewegung des Capitatum Tangente zu einer Kreislinie mit der Projection dieser Axe als Mittelpunkt bleiben.

Die Bilder der Volar- und der Dorsalflexionsstellung werden über einander eingepasst, so dass die Contouren des Lunatum zusammenfallen. Die im Verhältniss zum Capitatum fixe Linie wird auf eines der Röntgenbilder in ihre Lage zum Projectionsbilde des Lunatum bei sowohl Volar- als Dorsalflexion gezeichnet. Unter den Kreislinien, welche diese beiden Linien tangiren, wird die aufgesucht, deren Mittelpunkt zwischen den gezogenen Linien und der proximalen Fläche des Capitatum liegt. Dieser Mittelpunkt befindet sich im Punkte *M*, welcher auf beide Röntgogramme gezeichnet ist.

Bei Untersuchung der Lage dieses Punktes zeigt es sich, dass, wenn man die Röntgogramme der Dorsal- und der Volarflexionsstellung über einander einpasst, so dass die Bilder des Capitatum zusammenfallen, die Punkte M_1 und M_2 auch zusammenfallen.

Der Punkt M ist durch die Construction in dieselbe Stellung zur Projection des Lunatum in dessen Volar- und Dorsalflexionsstellung verlegt. Da dieser Punkt auch im Verhältniss zum Capitatum während der ganzen Bewegung dieses Knochens gegen das Lunatum fest bleibt, so geht daraus hervor, dass die Axe für die Bewegung zwischen dem Capitatum und dem Lunatum durch den Punkt M läuft, der in der Mitte vom Capitulum Capitati liegt.

In Fall IV ist die Axe (M) für die Dorso-volarflexion zwischen dem Capitatum und dem Lunatum in der Längsrichtung des Capitatum auf dem Projectionsbilde 7 mm von der proximalen ossösen Fläche des Capitatum belegen. Auf den Flächenansichten der Abductionsstellungen (Taf. V Figg. 1 und 2) ist der Krümmungshalbmesser für die proximale Fläche des Capitatum in der Frontalebene 7-5 mm.

In Fall I, wovon Randbilder in Taf. VII Figg. 17 bis 19 wiedergegeben sind, sind auf den Röntgogrammen die Krümmungshalbmesser für die Curvatur der proximalen Fläche des Capitatum in der Sagittalebene 7 mm und in der Frontalebene 8 mm.

Die proximale Fläche des Capitatum hat also in sagittaler Richtung nur einen ungefähr 1 mm kürzeren Krümmungshalbmesser als in frontaler Richtung. Man kann also approximativ annehmen, dass die Axen für die Abductionsbewegungen und die Dorso-Volarflexionsbewegungen zwischen dem Capitatum und dem Lunatum einander schneiden.

Die Projection der proximalen Fläche des Capitatum entspricht in Fall IV keinem Kreisbogen mit dem gefundenen Rotationscentrum als Mittelpunkt. Dies kann daher kommen, dass es möglicher Weise nicht die Contour der Gelenkfläche in der Medianebene ist, sondern der ulnare Rand der proximalen Gelenkfläche, der hier auf den Röntgogrammen als proximale Grenze für das Capitatum hervortritt. Es wäre auch so zu erklären, dass die Lampe vielleicht der Axe für die Rotationsfläche des Capitatum nicht nahe genug eingestellt gewesen ist, um eine kreisförmige Projection derselben zu erzeugen.

Um zu untersuchen, wie die knorpelbekleideten Flächen des Lunatum den gefundenen Rotationscentren für die Dorso-Volarflexion der Hand entsprechen, habe ich einen Gipsabguss von einem knorpelbe-

kleideten Lunatum gemacht und Wachs zur Form benutzt. Nach Vergleich der Stellung des Lunatum auf Flächenansichten und Randbildern von der Streckstellung der Hand habe ich einen sagittalen Schnitt durch dieses Gipsmodell gelegt, und zwar auf dessen grösster Breite. Die Contour dieses Sagittalschnittes habe ich copirt. Dieses copirte Bild wird in den Figg. 4 und 5 S. 228 wiedergegeben. Die Form des Sagittalschnittes stimmt mit der Form des Projectionsbildes des Lunatum auf den Röntgogrammen gut überein. Siehe Taf. VII Figg. 14 bis 19.

Auf dem Sagittalschnitt (Fig. 4 S. 228) habe ich versucht, den Mittelpunkt der Curvatur der beiden Gelenkflächen zu finden. Keine von ihnen bildet ja eine exacte Kreislinie. Wie aber aus der Figur hervorgeht, entspricht der Punkt M dem Centrum für die Curvatur der distalen Gelenkfläche, ausser in deren volarster Partie, welche einen grösseren Krümmungshalbmesser hat.

Die Curvatur der distalen Gelenkfläche in der Sagittalebene erlaubt also eine Rotation um M . Die Kreislinie d_1-v_1 auf der Figur ist mit M als Mittelpunkt gezogen.

Der Punkt C auf der Figur ist der Mittelpunkt für die Curvatur der proximalen Gelenkfläche im mittelsten Theile derselben. Die vordere und die hintere Partie derselben haben dagegen einen anderen Krümmungshalbmesser und erheben sich über eine Kreislinie, welche in der Fortsetzung der Curvatur der mittelsten Partie verläuft. Die proximale Gelenkfläche des Lunatum gestattet also eine Rotation dieses Knochens um eine durch C laufende Axe. Die Kreislinie $d-v$ in Fig. 4 S. 228 ist mit C als Mittelpunkt gezogen. Die Punkte d , v und d_I , v_I bezeichnen die Grenzen für die knorpelbekleideten Flächen.

Die Lage der auf den Röntgogrammen gefundenen Rotationscentren M und C , Taf. VII Fig. 14 und Fig. 16, stimmt mit der Lage der auf dem Sagittalschnitte gefundenen gleichbenannten Mittelpunkte für die Contouren der Rotationsflächen des Lunatum gut überein.

Die Röntgogramme zeigen, dass die Dorso-Volarflexion zwischen dem Capitatum und dem Lunatum im Intercarpalgelenke und zwischen dem Lunatum und dem Radius im Radiocarpalgelenke um quere, frontale Axen und nicht um schiefe, zwischen der Sagittalebene und der Frontalebene gestellte, Axen ausgeführt wird. Theils bewahren das Capitatum und das Lunatum, während der Bewegung ihr Projectionsbild so genau, wie es nicht der Fall sein könnte, wenn sie sich in einer Ebene bewegten, die mit der Photographieplatte einen Winkel bildete. Theils geben die Bewegungsaxen punktförmige Projectionen,

die sich auf derselben Stelle der Projectionsbilder der betreffenden Knochen während der ganzen Bewegung befinden, was nur der Fall sein kann, wenn die Bewegungsachsen rechtwinkelig zur Projectionsebene verlaufen. Endlich entspricht die Verschiebung während der Bewegung zwischen den Projectionsbildern der betreffenden Knochen auf der Sagittalebene vollständig der Grösse der ganzen in der Sagittalebene ausgeführten Bewegung (siehe S. 246), und die Flächenansichten der Dorsal- und Volarflexionsstellungen der Hand (Taf. VI Figg. 12 und 13) geben keine von der Dorso-Volarflexion bewirkte seitliche Verschiebung in den Carpalgelenken an (siehe S. 231).

Aus den Röntgogrammen geht also hervor, dass die Dorsal- und Volarflexion im Intercarpalgelenke zwischen dem Capitatum und dem Lunatum und im Radiocarpalgelenke zwischen dem Lunatum und dem Radius um verschiedene quere, frontale Axen ausgeführt wird.

Bei der Behandlung der Volar- und Dorsalflexion der Hand geben Braune und Fischer (8) an, dass sie mit einer ähnlichen Anordnung, wie hier auf Seite 185 beschrieben, die Theilnahme der beiden Carpalgelenke an der Bewegung bestimmt haben. Sie theilen indess nicht die Lage des Centrums für die Curven mit, die sie dadurch erhielten, dass sie die Endpunkte der Stifte projicirten, welche die Bewegung zwischen dem Lunatum und dem Radius bzw. Capitatum und Lunatum aufgezeichnet haben.

Die Curve, die sie dadurch erhielten, dass sie in der Sagittalebene den Endpunkt eines mit dem Metacarpale III verbundenen Stiftes während einer Anzahl Momente von der Bewegung der ganzen Hand projicirten, bildete einen Kreisbogen mit dem Centrum im Capitulum Capitati.

Ich habe durch eine Construction 16 der Projectionsbilder aufgelegt, die ein Punkt auf der Längsaxe des Capitatum, 23^{mm} vom Mittelpunkt des Capitulum Capitati, bei der Dorsal- und Volarflexionsbewegung der Hand geben würde, unter der Annahme, dass bei der Volarflexion der Hand das Verhältniss zwischen der Bewegung des Radiocarpal- und des Intercarpalgelenkes constant 2:1 ist, und dass bei der Dorsalflexion dieses Verhältniss während der ganzen Bewegung 1:2 ist, mit einem Ausschlag des ganzen Gelenksystems volarwärts von 63° und dorsalwärts von 72° (siehe Fall I Tab. II), wie dass die Rotationscentren für die Bewegung zwischen dem Capitatum und dem Lunatum und zwischen dem Lunatum und dem Radius (wie in Fall IV) in einer Entfernung von 9^{mm} von einander liegen.

Diese Projectionspunkte liegen auf einer Curve, die ja allerdings nicht eine exacte Kreislinie bildet, aber einem Kreisbogen ausserordentlich nahe kommt, dessen Mittelpunkt im proximalen Theile des Capitulum Capitati liegt.

Die Beobachtung von Braune und Fischer, dass der Endpunkt eines mit dem Capitatum verbundenen Stiftes bei den Dorsal- und Volarflexionsbewegungen der Hand in der Sagittalebene Projectionen giebt, die in einer Curve liegen, welche dem Augenmaasse nach von einem Kreisbogen nicht wesentlich abweicht, dessen Mittelpunkt im Capitulum Capitati liegt, widerspricht nicht, hiernach zu urtheilen, dass die Dorso-Volarflexion im Handgelenke um zwei transversale Axen ausgeführt wird, die durch die von mir auf den Röntgogrammen gefundenen Rotationscentren laufen.

4. Theilnahme des Radiocarpal- und des Intercarpalgelenkes an der Dorsal- und Volarflexion der Hand.

- a) Die Bewegung zwischen der distalen Carpalreihe und dem Lunatum-Triquetrum, wie zwischen diesen Knochen und dem Radius.

Fall IV (Taf. VII Fig. 14 bis 16). Bei der Radiographirung dieser Serie wurde die Hand erst in Volar- und Dorsalflexionsstellung und zuletzt in Streckstellung beleuchtet. Während der Vorderarm bei den beiden ersteren Handstellungen nahezu dieselben Contouren gegeben hat, ist der Arm dagegen beim Uebergehen der Hand zur Streckstellung gerollt worden, so dass die Projectionsbilder der Vorderarmknochen verändert worden sind. Es sind die distalen Theile der Seitencontouren dieser Knochen, welche dadurch verändert worden sind, indem sie sich im Verhältniss zum proximalen Theile der auf dem Röntgogramme sichtbaren Diaphysenpartie verschoben haben. Ausserdem hat der Arm seine Neigung gegen die Unterlage verändert, so dass die distale Contour der Ulna mehr proximal auf dem Radius als in den beiden anderen Bildern projicirt ist.

Auch die Bilder des Capitatum und des Lunatum sind von dieser Bewegung beeinflusst worden. Die Veränderungen auf dem Streckstellungsbilde sind indess nicht grösser, als dass man den Grad der Bewegungen dieser Knochen von der Streckstellung zu der Dorsal- und Volarflexionsstellung ziemlich genau beurtheilen kann.

So sind die volaren und proximalen Contouren des Lunatum fast unverändert, auch giebt die sichtbare Partie der distalen Gelenkfläche

einigen Anhalt zur Beurtheilung der Stellung des Lunatum. Auf dem Capitatum sind die sichtbaren Partien der dorsalen und proximalen Contouren auf dem Streckstellungsbilde über dieselben Contouren auf den beiden anderen Bildern eingestellt worden. Die volare Contour des Capitatum und die dorsale Contour des Metacarpale III decken dabei nicht die entsprechenden Contouren auf den anderen Bildern, laufen aber ungefähr parallel mit ihnen. Infolge der Veränderungen der Contour des Radius auf dem Streckstellungsbilde ist es nicht möglich gewesen, die ganze Contour des Radius über dessen Contour auf den Volar- und Dorsalflexionsbildern einzupassen, sondern die Volar- und Dorsalflexion des Lunatum und des Capitatum gegen den Radius von der Streckstellung aus ist mittels deren verschiedener Neigung gegen die auf den Röntgogrammen sichtbare Partie der Diaphyse des Radius berechnet worden.

Das Intercarpalgelenk. Auf dem Volarflexionsbilde (Taf. VII Fig. 14) ist die Linie 1 in dieselbe Stellung zum Capitatum verlegt wie die Linie 3 auf dem Dorsalflexionsbilde (Taf. VII Fig. 16). Die Linie 2 auf dem Streckstellungsbilde (Taf. VII Fig. 15) ist durch die eben beschriebene Einstellung in dieselbe Neigung zur Längsaxe des Capitatum verlegt, wie die Linie 1 in Taf. VII Fig. 14 und die Linie 3 in Taf. VII Fig. 16. Die Linie I in Taf. VII Fig. 14 und die Linie III in Taf. VII Fig. 16 sind in derselben Stellung zum Lunatum gezogen wie die Linien II in Taf. VII Fig. 15. Weil bei der Streckstellung der Hand (Taf. VII Fig. 15) die Linie 2 auf dem Capitatum und die fixe Linie II auf dem Lunatum ihrer Richtung nach zusammenfallen, giebt der Winkel zwischen den Linien 1 und I in Taf. VII Fig. 14 den Ausschlag im Intercarpalgelenk bei der Volarflexion ($= 18^{\circ}$) an. Der Winkel zwischen den Linien 3 und III in Taf. VII Fig. 16 giebt den Ausschlag im Intercarpalgelenke bei dorsaler Flexion ($= 29^{\circ}$) an. Die ganze Bewegung zwischen dem Capitatum und dem Lunatum ist also 47° .

Das Radiocarpalgelenk. Auf dem Bilde der Volarflexionsstellung (Taf. VII Fig. 14) sind nach einander die Bilder der Dorsalflexion und der Streckstellung angebracht worden, so dass die Contouren des Radius über einander eingepasst worden sind. Die im Verhältniss zum Lunatum fixe Linie ist in ihren verschiedenen Stellungen zum Radius bei der Streckstellung (II) und der Dorsalflexionsstellung (III) gezeichnet worden. Der Winkel zwischen den Linien I und II, welcher die Volarflexion im Radiocarpalgelenke angiebt, ist 24° . Die Abweichung zwischen den Linien II und III, welche die

Dorsalflexion im Radiocarpalgelenke angiebt, ist 27° . Die ganze Bewegung zwischen dem Lunatum und dem Radius ist folglich 51° .

Auf das Dorsalflexionsbild (Taf. VII Fig. 16) ist das Volarflexionsbild (Taf. VII Fig. 14) so eingepasst worden, dass die Contouren des Radius einander decken. Die im Verhältniss zum Capitatum mit der Linie 3 analog gelegene Linie 1 ist darnach auf die Fig. 16 Taf. VII gezeichnet worden. Der Winkel zwischen den Linien 1 und 3 giebt die Grösse der ganzen Bewegung des Capitatum (= der ganzen Hand) gegen den Radius an. Dieser Winkel ist 98° . — 47° von dieser Bewegung sind im Intercarpalgelenke, 51° im Radiocarpalgelenke ausgeführt. Die Summe der Ausschläge des Radiocarpal- und des Intercarpalgelenkes in volarer Richtung ist 42° und in dorsaler Richtung 56° .

Fall I. Taf. VII Fig. 17 bis 19.

Diese Röntgogramme geben die radiale Seite (diese Seite nach der Platte) derselben Hand wieder, die unter der Bezeichnung Fall I bei der Besprechung der Abductionsbewegungen geschildert wird. Beim Uebergehen der Hand in die verschiedenen Stellungen hat eine Bewegung des Vorderarmes stattgefunden. Den Contourveränderungen nach zu urtheilen, ist die Neigung des Unterarmes gegen die Platte etwas geändert worden, und überdies hat eine unbedeutende Rollung stattgefunden. Wie aus den Figuren hervorgeht, sind indess die Veränderungen der Vorderarmknochen, wie die Projectionsbilder des Capitatum und des Lunatum nicht sonderlich gross. Sie sind indess hinreichend, um eine völlig sichere Einstellung der Projectionsbilder der betreffenden Knochen in den verschiedenen Handstellungen über einander zu verhindern. Andererseits sind die Veränderungen nicht grösser, als dass Anhaltspunkte zur Beurtheilung der Bewegung der beiden Carpalreihen in der Sagittalebene erhalten werden können.

Es sind die Seitencontouren der Epiphyse des Radius und die Projection des Processus styloideus Radii, welche verändert worden sind. Die auf den Röntgogrammen vorliegende Partie der Diaphyse des Radius ist dagegen unverändert, ebenso die Projection der distalen Gelenkfläche. Das Lunatum hat seine proximale Contour verändert, und auf dem Dorsalflexionsbilde (Taf. VII Fig. 19) kann diese nicht von der Contour der Gelenkfläche des Radius unterschieden werden. Die Contour der distalen Gelenkfläche und ebenso die volare und dorsale Contour auf jedem der drei Bilder können indess gleichzeitig über die entsprechenden Contouren auf den übrigen eingestellt werden, und auf diese Weise kann man einen Anhalt für die Beurtheilung der Bewegung des Lunatum im Verhältniss zu Capitatum und Radius er-

halten. Die Contouren des Capitatum sind gleich geblieben, abgesehen von kleinen Abweichungen der dorsalen Contour bei der Dorsalflexionsstellung.

Der Punkt *M* ist der Mittelpunkt für die Curvatur der Projection von der proximalen Gelenkfläche des Capitatum. Durch diesen Punkt sind die Linien 1 (Taf. VII Fig. 17), 2 (Taf. VII Fig. 18) und 3 (Taf. VII Fig. 19) in derselben Stellung zum Capitatum gezogen.

Stellt man die Bilder des Lunatum über einander ein, so dass dessen distale und volare Contouren auf den verschiedenen Bildern einander decken, dann fallen auch die dorsalen Contouren zusammen, während die proximalen Contouren neben einander laufen. Werden die Bilder des Lunatum auf diese Weise über einander eingepasst, dann fallen auch die Punkte M_1 , M_2 und M_3 auf dem Capitatum über einander. Auf das Lunatum sind in dessen verschiedenen Stellungen die — nach eben beschriebener Einstellung — analog liegenden Linien I (Taf. VII Fig. 17), II (Taf. VII Fig. 18) und III (Taf. VII Fig. 19) gezeichnet.

Das Radiocarpalgelenk. Auf dem Dorsalflexionsbilde (Taf. VII Fig. 19) sind durch Einstellung der Bilder des Radius über einander die Lagen der auf dem Lunatum festen Linie zum Radius bei der Volarflexion I, bei der Streckstellung II und bei der Dorsalflexion III gezeichnet. Hierdurch wird eine Volarflexion des Lunatum gegen den Radius von 42° und eine Dorsalflexion von 22° angegeben. Die ganze Bewegung zwischen dem Lunatum und dem Radius ist also etwa 64° .

Das Intercarpalgelenk. Auf dem Streckstellungsbilde (Taf. VII Fig. 18) ist durch Einstellung der Bilder des Lunatum über einander die auf dem Capitatum fixe Linie in ihrer Stellung zum Lunatum gezeichnet, und zwar bei Volarflexion (1), bei Streckstellung (2) und bei Dorsalflexion (3). Dadurch wird eine Volarflexion zwischen dem Capitatum und dem Lunatum von 19° und eine Dorsalflexion von 53° angegeben. — Die ganze Bewegung zwischen diesen Knochen ist also etwa 72° .

Auf dem Volarflexionsbilde (Taf. VII Fig. 17) ist nach Einstellung der Bilder des Radius über einander die auf dem Capitatum fixe Linie in ihrer Neigung gegen Radius bei Volarflexion der Hand (1), Streckstellung (2) und Dorsalflexion (3) gezeichnet. Dadurch wird angegeben, dass das Capitatum im Verhältniss zum Radius 62° volar flectirt und 73° dorsal flectirt worden ist. Die Summe der für das Radiocarpal- und das Intercarpalgelenk gesondert gefundene Volarflexion war 61° und deren zusammengelegte Dorsalflexion 75° .

In Fall IV sind weder Dorsal- noch Volarflexion in grösstmög-

lichem Grade ausgeführt, um bei den anstrengenderen extremen Momenten der Bewegung eine Verrückung des Armes zu vermeiden. Eine Bewegung von ungefähr 30° war noch möglich.

In Fall I ist die Bewegung, so weit dies durch die eigene Kraft des Armes geschehen konnte, ausgeführt.

Wie oben erwähnt, verändert das Triquetrum während der Dorsal- und Volarflexion seine Neigung gegen das Lunatum nicht. Die nun angeführten Gradzahlen beziehen sich deshalb auf die Bewegung der distalen Carpalreihe (des Capitatum), gegen das Lunatum-Triquetrum und die Rotation dieser Knochen gegen den Vorderarm.

Meinen beiden Fällen nach zu urtheilen, ist das Verhältniss zwischen der Theilnahme des Radiocarpal- und des Intercarpalgelenkes an der Dorsal- und Volarflexion der Hand, so weit dies der Bewegung zwischen der distalen Carpalreihe und dem Lunatum-Triquetrum und zwischen diesen Knochen und dem Radius gilt, nicht constant.

In beiden Fällen ist indess bei der Volarflexion die Bewegung des Radiocarpalgelenkes grösser als die des Intercarpalgelenkes, während bei der Dorsalflexion ein grösserer Theil der Bewegung im Intercarpalgelenke ausgeführt wird.

Während aber in Fall I die Theilnahme des Radiocarpalgelenkes an der Volarflexion etwas mehr als doppelt so gross ist als die des Intercarpalgelenkes (69 Procent der ganzen Volarflexion), und das Radiocarpalgelenk bei der Dorsalflexion einen etwas weniger als halb so grossen Ausschlag (29 Procent der ganzen Dorsalflexion) als das Intercarpalgelenk macht, so ist in Fall IV der Unterschied in der Grösse der Excursion der beiden Gelenke ziemlich gering, da das Radiocarpalgelenk an der Volarflexion mit 57 Procent der Bewegung und an der Dorsalflexion mit 48 Procent der Bewegung Theil nimmt.

An der ganzen Flexionsbewegung der Hand ist die Theilnahme der beiden Gelenke ungefähr gleich gross, indem das Radiocarpalgelenk in Fall I 47 Procent der Bewegung, in Fall IV 52 Procent ausgeführt hat.

Die von Braune und Fischer (8) gefundenen Zahlen für die Theilnahme des Radiocarpal- und des Intercarpalgelenkes an der Dorsal- und Volarflexion der Hand, welche sich auch auf die Bewegung des Capitatum und des Lunatum beziehen, da sie durch ein Verfahren erhalten worden sind, analog dem bei Berechnung der Theilnahme der Carpalgelenke an ulnarer und radialer Abduction angewandten, zeigen bei Dorsalflexion der Hand eine Bewegung von 18° (20 Procent) im Radiocarpalgelenk und 76° im Intercarpalgelenk, und

bei Volarflexion der Hand einen Ausschlag von 52° (65 Procent) im ersteren Gelenk und 25° im letzteren.

Die ganze Bewegung der Hand war 168° , wovon die eine Hälfte als Volar- und die andere als Dorsalflexion berechnet wurde.

Dieser Fall gleicht sehr meinem Fall I, indem bei der Volarflexion die Bewegung des Radiocarpalgelenkes, bei der Dorsalflexion die des Intercarpalgelenkes bedeutend überwiegt.

Es ist möglich, dass der in Fall IV weniger scharf hervortretende Unterschied zwischen der Theilnahme der beiden Gelenke an der Dorsal- und Volarflexion darauf beruht, dass in diesem Falle nur eine Bewegung von 98° gemacht worden ist, während eine grössere Bewegung (ungefähr 130°) ausführbar war, wenn nämlich eines der Gelenke bei steigender Flexion sich immer mehr geltend macht.

b) Die Bewegung des Naviculare gegen das Lunatum und die Bewegung zwischen der distalen Carpalreihe und dem Naviculare wie zwischen dem Naviculare und dem Radius.

Obgleich das Naviculare zwar in keiner meiner beiden Serien von Randbildern der Flexionsbewegungen der Hand congruente Contouren gegeben hat, gestattet doch dessen langgestrecktes Bild, da seine Form nur unbedeutend verändert worden ist, eine approximative Beurtheilung der Grösse der Bewegungen des Naviculare.

In Fall I ist es möglich gewesen, mit Hülfe der distalen und dorsalen Contouren des Naviculare eine approximative Schätzung der Bewegung des Naviculare zwischen allen drei Handstellungen auszuführen. In Fall IV haben nur die Bewegungen des Naviculare zwischen den Aussenstellungen der Hand berechnet werden können, weil auf dem Streckstellungsbilde theils ein zu kleiner Theil der Contour des Naviculare zu sehen ist, theils die sichtbare Partie zu viel verändert ist, als dass eine zuverlässige Schätzung der Bewegung des Naviculare von der Streckstellung aus gemacht werden könnte.

Fall IV. Da ich die Figuren nicht durch mehr Constructionslinien allzu verwickelt machen will, habe ich in einer besonderen Figur (Taf. VII Fig. 20) das Naviculare in seiner Stellung zum Lunatum bei der Volar- und Dorsalflexion der Hand in Fall IV gezeichnet.

Die Figur ist in der Weise erhalten, dass die Contouren der Vorderarmknochen, des Lunatum und des Naviculare auf dem Volarflexionsbilde der Hand mit ausgezogenen Linien durchgepaust sind. Darauf ist das Dorsalflexionsbild der Hand über dem ersteren Bilde eingestellt worden, so dass die Contouren des Lunatum auf den beiden Bildern über

einander eingepasst worden sind. Die Stellung des Naviculare zum Lunatum ist nun durch eine punktierte Contour gekennzeichnet. Die Partien der Contour des Lunatum auf dem Dorsalflexionsbilde, welche nicht mit dessen Contour auf dem Volarflexionsbilde zusammenfallen, sind auch mit punktierten Linien¹ bezeichnet.

Die Linie *nav. 3* auf dem Dorsalflexionsbilde des Naviculare ist mit der Genauigkeit, womit dies sich mit Hülfe der sichtbaren Partien des Naviculare thun lässt, in derselben Lage zum Naviculare gezeichnet wie die Linie *nav. 1* auf dessen Volarflexionsbilde. Der Winkel zwischen diesen beiden Linien giebt die Bewegung des Naviculare gegen das Lunatum annähernd an und beträgt 32° .

Die Bewegung des Naviculare gegen den Radius — gemessen durch die Winkel, welche auf die Bilder des Naviculare analog angebrachte Linien (nicht auf die Figuren gezeichnet) bei der Volar- und Dorsalflexion der Hand mit dem Radius bilden — beträgt etwa 83° .

Die Bewegung der distalen Carpalreihe gegen das Naviculare — gemessen durch den Grössenunterschied zwischen den Winkeln, welche auf die Bilder des Naviculare analog angebrachte Linien bei der Volarflexion und Dorsalflexion der Hand mit den auf die Bilder des Capitatum analog gelegten Linien bilden — beträgt 15° .

Fall I. In diesem Falle habe ich durch Messung des Winkels in den drei Stellungen der Hand zwischen den im Verhältniss zum Capitatum analogen Linien *I*, Taf. VII Fig. 17, *2*, Taf. VII Fig. 18 und *3*, Taf. VII Fig. 19, und einer zum Naviculare in dessen verschiedenen Stellungen so genau als möglich analog gelegten Linie (nicht auf die Figuren gezeichnet), die Bewegung des Capitatum gegen das Naviculare sowohl bei dorsaler, als volarer Flexion gleich 11° befunden, die ganze Bewegung also gleich 22° . Die Bewegung des Naviculare gegen den Radius war 50° Volarflexion und 63° Dorsalflexion.

Die Bewegung des Naviculare gegen das Lunatum, welche durch Messung des Winkels zwischen den auf das Lunatum gelegten Linien *I*, Taf. VII Fig. 17, *II*, Taf. VII Fig. 18, und *III*, Taf. VII Fig. 19, und den auf das Naviculare in dessen verschiedenen Stellungen analog gelegten Linien erhalten wurde, beträgt 8° Volarrotation und 41° Dorsalrotation.

¹ Ueber die Contouren der Vorderarmknochen auf dem Volarflexionsbilde (ausgezogene Linien) sind auch die Contouren dieser Knochen auf dem Dorsalflexionsbilde gezeichnet, welche auf den Stellen, wo die betreffenden Contouren nicht zusammenfallen, mit punktierten Linien angegeben sind.

Berechnet man aus diesen Ziffern die Bewegung zwischen dem Capitatum und dem Lunatum, wie zwischen dem Lunatum und dem Radius, so erhält man eine Volarflexion des Capitatum gegen das Lunatum von 19° (19°) und eine Dorsalflexion von 52° (53°), wie eine Volarrotation des Lunatum gegen den Radius von 42° (42°) und eine Dorsalrotation von 22° (22°). Wie ersichtlich, ist es nur die Dorsalflexion des Capitatum gegen das Lunatum, welche sich (um 1°) von den durch die vorhergehende Bestimmung gefundenen Zahlen scheidet, welche in Klammern angegeben sind.

Die Volar- und Dorsalflexion der Hand zeichnet sich dadurch aus, dass eine Rotation in der Richtung der Bewegung der Hand in der proximalen Carpalreihe vorkommt, nämlich zwischen dem Naviculare und dem Lunatum-Triquetrum. Durch diese Rotation führt das Naviculare eine entsprechende grössere Bewegung gegen den Radius aus als diese Knochen. Die Bewegung zwischen der distalen Carpalreihe und dem Naviculare ist auch in entsprechendem Grade geringer als die Rotation zwischen der distalen Carpalreihe und dem Lunatum-Triquetrum, und beträgt nur etwa $\frac{1}{6}$ der totalen Bewegung der Hand, in Fall I 22° in Fall IV 15° .

Bei der Dorsalflexion der Hand geschieht eine grössere Bewegung zwischen der distalen Carpalreihe und den Lunatum-Triquetrum, als zwischen diesen Knochen und dem Vorderarm, während bei der Volarflexion das Gegentheil der Fall ist.

Bei sowohl dorsaler als volarer Flexion ist dagegen die Bewegung zwischen dem Naviculare und dem Radius bedeutend grösser (ungefähr 84 Procent der ganzen Bewegung) als die Rotation, welche zwischen der distalen Carpalreihe und dem Naviculare erfolgt.

Daher wird der grösste Theil der Bewegung des Naviculare gegen das Lunatum bei der Dorsalflexion der Hand ausgeführt. In Fall I erfolgen ungefähr $\frac{5}{6}$ der Rotation des Naviculare gegen das Lunatum bei Dorsalflexion der Hand. Auch aus den ulnaren Randbildern (Fall IV) geht hervor, dass der grösste Theil der Bewegung des Naviculare gegen das Lunatum bei Dorsalflexion stattfindet, obgleich der Grad der Bewegung des Naviculare hier nicht von der Streckstellung aus berechnet werden kann.

In Fall I wurde die bei den Abductionsbewegungen auftretende Dorso-Volarflexion zwischen dem Naviculare und dem Capitatum approximativ auf 20° geschätzt. Wenn man das radiale Randbild der Radialabduction (Taf. VI Fig. 11) mit dem Dorsalflexionsbilde von radialer Seite

(Taf. VII Fig. 19) vergleicht, so findet man, dass die Stellung des Naviculare zur distalen Carpalreihe auf beiden Bildern nahezu gleich ist. Dies ist auf dem Ulnar-Abductionsbilde (Taf. VI Fig. 10) und dem Volarflexionsbilde (Taf. VII Fig. 17) auch der Fall. Bei der während der Abductionsbewegungen auftretenden Dorso-Volarflexion der proximalen Carpalreihe scheint also das Naviculare den grössten Theil seiner Beweglichkeit oder vielleicht sein ganzes Bewegungsvermögen gegen die distale Carpalreihe auszunützen.

Kurze Zusammenfassung.

Bei ulnarer und radialer Abduction der Hand rotiren sowohl die proximale als die distale Carpalreihe um eine sagittale Axe, welche durch die Mitte des Capitulum Capitati läuft.

Obgleich weder die proximale, noch die distale Carpalreihe Gelenkflächen hat, welche als Ganzes Rotationsflächen mit erwähnter Axe entsprechen, wird doch eine Rotation um dieselbe auf die Weise ermöglicht, dass durch die mit den Abductionsbewegungen gleichzeitige Rotation der proximalen Carpalreihe in sagittaler Richtung zwischen der distalen Carpalreihe und dem Vorderarm die Form der Contactfläche der proximalen Carpalreihe mit dem Radius allmählich geändert wird, so dass trotz der unregelmässigen Form der Gelenkpfanne eine Rotation um eine feste, sagittale Axe möglich wird.

In Folge der Beweglichkeit des Triquetrum gegen das Lunatum in proximodistaler Richtung kann die Rotation im Intercarpalgelenke unter der Leitung der proximalen Fläche des Capitatum ausgeführt werden, deren frontale Curvatur einer Rotationsfläche entspricht, gebildet um die Axe der Abductionsbewegungen, obgleich die Gelenkfläche des Hamatum gegen die proximale Carpalreihe eine andere Axe und einen grösseren Krümmungshalbmesser hat.

Bei ulnarer Abduction rotirt die proximale Carpalreihe in sagittaler Richtung zwischen der distalen Carpalreihe und dem Vorderarm, so dass sie gegen den Vorderarm dorsal flectirt und gegen die distale Carpalreihe volar flectirt wird. Bei radialer Abduction rotirt die proximale Carpalreihe volarwärts gegen den Vorderarm, dorsalwärts gegen die distale Carpalreihe. Die durch die Abduction der Hand erzeugte Flexionsbewegung der proximalen Carpalreihe verursacht in beiden Carpalgelenken eine gleich grosse Rotation in sagittaler Richtung, aber in entgegengesetzten Richtungen.

Durch die Dorso-Volarflexion der proximalen Carpalreihe wie durch

die Gleitbewegungen des Triquetrum gegen das Lunatum wird der radiale bzw. ulnare Rand der Gelenkpfanne des Intercarpalgelenkes gesenkt, wodurch eine Seitenrotation im Intercarpalgelenke hauptsächlich ermöglicht wird.

Die Abductionsbewegungen der Hand rufen keine zwangsmässige Rotation der Multangula in supinatorischer oder pronatorischer Richtung hervor.

Grössere Bewegungen des Daumens beeinflussen das Gelenk zwischen den Multangula.

An sowohl radialer wie ulnarer Abduction nehmen beide Carpalgelenke Theil, an ulnarer Abduction in ungefähr gleichem Grade, an radialer Abduction mit überwiegender Beweglichkeit im Intercarpalgelenk.

Bei der Volar- und Dorsalflexion der Hand wird die Rotation zwischen dem Capitatum und dem Lunatum, wie zwischen dem Lunatum und dem Radius um je eine quere, frontale Axe ausgeführt, von denen die erstere durch die Mitte des Capitulum Capitati, die letztere durch den tiefsten Theil der distalen Gelenkfläche des Lunatum läuft.

Bei der Volar- und Dorsalflexion der Hand kommt eine Rotation zwischen den Knochen in der proximalen Carpalreihe vor, indem das Naviculare durch Rotation gegen das Lunatum in der Richtung der Handbewegung an ungefähr $\frac{2}{3}$ der Bewegung der distalen Carpalreihe gegen das Lunatum-Triquetrum Theil nimmt, zum grössten Theil bei der Dorsalflexion der Hand.

Zwischen der distalen Carpalreihe und dem Naviculare kommt nur eine geringe Flexionsbewegung vor, nur ungefähr $\frac{1}{4}$ der ganzen Flexion der Hand entsprechend.

Bei Volarflexion der Hand wird eine grössere Bewegung zwischen dem Lunatum-Triquetrum und dem Vorderarm ausgeführt, als zwischen der distalen Carpalreihe und dem Lunatum-Triquetrum. Bei der Dorsalflexion ist dagegen die Bewegung zwischen der distalen Carpalreihe und diesen Knochen die grössere.

Die Verschiebung des Pisiforme gegen die proximale Carpalreihe ist sowohl bei Volar- und Dorsalflexion, als bei ulnarer und radialer Abduction der Hand in der Weise regulirt, dass der *Musc. flexor carpi ulnaris* direct auf die beiden Carpalgelenke einwirkt.

Tabelle I.

Die Beteiligung des Radiocarpal- und des Intercarpal-
gelenkes an den radialen und ulnaren Abductions-
bewegungen der Hand.

	Von den bei der Exponir- eingen. Stell. berechnet.		Radio- carpalgelenk	Intercarpal- gelenk	Das ganze Handgelenk	Radiocar- palgel. %	Intercar- palgel. %	Von der ge- wählten Aus- gangstellung	
								Uln. Abd.	Rad. Abd.
Fall I. 32j. Klavierspielerin.									
a) Rechte Hand. Volarseite	Uln. Abd.	1—2	7°	9°	16°	44	56	36°	24°
	Rad. Abd.	2—3	24°	20°	44°	55	45	60%	40%
		1—3	31°	29°	60°	51	49		
b) Rechte Hand. Dorsals.	Uln. Abd.	1—2	24°	22°	46°	52	48	34°	24°
	Rad. Abd.	2—3	4°	8°	12°	33	67	59%	41%
		1—3	28°	30°	58°	48	52		
Fall II. 10jähriger Knabe.									
a) Rechte Hand. Volarseite	Uln. Abd.	1—2	12°	6°	18°	67	33	34°	11°
	Rad. Abd.	2—3	10°	17°	27°	37	63	75%	25%
		1—3	22°	23°	45°	49	51		
b) Rechte Hand. Dorsals.	Uln. Abd.	1—2	17°	15°	32°	58	42	30°	15°
	Rad. Abd.	2—3	4°	9°	13°	31	69	67%	33%
		1—3	21°	24°	45°	47	53		
Fall III. 21jähr. Steinarb.									
Rechte Hand. Dorsalseite	Uln. Abd.	1—2	9°	12°	21°	43	57	19°	17°
	Rad. Abd.	2—3	2°	13°	15°	13	87	58%	42%
		1—3	11°	25°	36°	31	69		
Fall IV. F., 24j. Stud. med.									
Linke Hand. Dorsalseite	Uln. Abd.	1—2	5°	3°	8°	62.5	37.5		
		2—3	5°	0°	5°	100	0	27°	31°
		3—4	2°	8°	10°	20	80	47%	53%
		4—5	2°	15°	17°	12	88		
	Rad. Abd.	5—7	0°	18°	18°	0	100		
		1—7	14°	44°	58°	24	76		
Fall V. L., 24j. Stud. med.									
Rechte Hand. Dorsalseite	Uln. Abd.	1—2	2°	4°	6°	33	67		
		2—4	2°	14°	16°	12.5	87.5	5°	35°
	Rad. Abd.	4—5	2°	16°	18°	11	89	13%	87%
		1—5	6°	34°	40°	15	85		

Tabelle II.

Die Betheiligung des Radiocarpal- und Intercarpalgelenkes an den Volar- und Dorsalflexionsbewegungen der Hand.

	Von den bei d. Exponir- ingen. Stell. berechnet		Radio- carpalgelenk	Intercarpal- gelenk	Das ganze Handgelenk		Radiocar- palgelenk	Intercar- palgelenk
							%	%

Die Bewegung zwischen der distalen Carpalreihe und Lunatum-Triquetrum und zwischen diesen Beinen der proximalen Carpalreihe und Radius.

Fall I.	{	Volarfl.	1—2	42°	19°	61°	(62°)	69	31
		Dorsalf.	2—3	22°	58°	75°	(78°)	30	70
			1—3	64°	72°	136°	(135°)	47	53
Fall IV.	{	Volarfl.	1—2	24°	18°	42°		57	43
		Dorsalf.	2—3	27°	29°	56°		48	52
			1—3	51°	47°	98°		52	48

Die Bewegung zwischen der distalen Carpalreihe und Naviculare und zwischen Naviculare und Radius.

Fall I.	{	Volarfl.	1—2	50°	11°	61°		82	18
		Dorsalf.	2—3	63°	11°	74°		85	15
			1—3	113°	22°	135°		84	16
Fall IV.			1—3	88°	15°	98°		85	15

Die Bewegung zwischen Naviculare und Lunatum.

Fall I.	{	Volarfl.	1—2	8°				16	
		Dorsalf.	2—3	41°				84	
			1—3	49°					
Fall IV.			1—3	32°					

Litteratur.

1. T. H. Bryce, On certain points in the anatomy and mechanism of the wristjoint reviewed in the light of a series of Röntgen ray photographs of the living hand. *Journal of anatomy and physiology*. 1896. Vol. XXXI.
2. E. Zuckerkandl, Notiz über den Mechanismus des Handgelenkes. *Anat. Anz.* (30. Jan. 1897.) Bd. XIII. S. 120 bis 124.
3. H. Virchow, Röntgenaufnahmen der Hand. *Sitz.-Ber. der Ges. naturf. Freunde*. Berlin. Jahrg. 1899. S. 79 bis 85.
4. Derselbe, Röntgenaufnahmen der Hand. *Ebenda*. S. 90 bis 96.
5. Derselbe, Das Skelett der ulnarwärts abducirten und radialwärts abducirten Hand. *Zeitschr. f. Morphol. u. Anthropol.* Stuttgart 1899. Bd. I. Heft 3. S. 453 bis 482.
6. A. Bühler, Das Verhalten der Carpalknochen bei den Seitenbewegungen der Hand. *Anat. Anz.* Bd. XVI. S. 223 bis 229.
7. E. R. Corson, An X-Ray Study of the normal movements of the carpal bones and Wrist. 16 fig. *Proc. Assoc. Americ. Anat.* 11 sess. 1898. 1899 S. 67 bis 92.
8. W. Braune und O. Fischer, Untersuchungen über die Gelenke des menschlichen Armes. Theil II: Das Handgelenk. *Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss. Abh. math.-phys. Cl.* Leipzig 1887 bis 1888. Bd. XVI.
9. Dieselben, Das Gesetz der Bewegungen in den Gelenken an der Basis des mittl. Fingers und im Handgelenk des Menschen. *Ebenda*. S. 223 bis 227.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel V—VII.

Die Zeichnungen der Röntgogramme habe ich nach der auf S. 172 angegebenen Methode ausgeführt. Die Röntgenbilder sind, wie beschrieben, auf einem über die Hautseite der Photographieplatte gespannten durchsichtigen Papier copirt worden; auf den Figuren aber, mit Ausnahme der Fig. 12, sind die Zeichnungen umgekehrt, so dass die Figuren den Contouren einer gewöhnlichen photographischen Copie einer Röntgenplatte gleichen, d. h. dass die bei der Röntgographirung nach der Platte sehende Seite der Hand dem Zuschauer zugekehrt ist.

Wo nicht Anderes angegeben ist, sind die Contouren der Knochenflächen, die nach der Platte (dem Zuschauer) sehen, mit ausgezogenen Linien gezeichnet, die Contouren aber, welche von vorliegenden Knochen verdeckt sind, werden durch punktirte Linien angegeben.

Um nicht das Archiv mit zu vielen Reproductionen zu belasten, sind neben den Pauscopien der Röntgogramme nicht auch die photographischen Copien derselben wiedergegeben worden. Diese stehen jedoch, wenn gewünscht, bei dem Verfasser zur Verfügung.

Tafel V.

- Fig. 1 = Ulnare Abduction; dorsale Handfläche; linke Hand. Fall IV b.
 Fig. 2 = Radiale " " " " " Fall IV b.
 Fig. 3 = " " " " " Fall IV a.
 Fig. 4 = Combination von den Figg. 1 und 2.
 Figg. 5, 6 und 7 = Combinationen von den Figg. 1 und 2, um die Bewegungen des Pisiforme zu zeigen.

Tafel VI.

- Fig. 8 = Ulnare Abd. vom ulnaren Rande der Hand gesehen. Fall I.
 Fig. 9 = Radiale " " " " " " "
 Fig. 10 = Ulnare Abd. vom radialen Rande " " " "
 Fig. 11 = Radiale Abd. " " " " " "
 Fig. 12 = Dorsalflexion von der Volarseite. Rechte Hand. Fall IV.
 Fig. 13 = Volarflection von der Dorsalseite. Rechte Hand. "

Tafel VII.

- Fig. 14 = Volarflection vom ulnaren Rande der linken Hand. Fall IV.
 Fig. 15 = Streckstellung vom ulnaren Rande der linken Hand. Fall IV.
 Fig. 16 = Dorsalflexion " " " " " "
 Fig. 17 = Volarflection vom radialen Rande der rechten Hand. Fall I.
 Fig. 18 = Streckstellung vom " " " " " "
 Fig. 19 = Dorsalflexion " " " " " "
 Fig. 20 = Combination von den Figg. 14 und 16, um die Bewegung des . Naviculare gegen das Lunatum zu veranschaulichen.

Die Figuren sind von derselben Grösse wie die Pauscopien.

Bei allen Exponirungen hat sich der Antikathodenspiegel 40^{cm} von der Photographieplatte befunden.

Bei der Aufnahme der Flächenbilder der Abductionstellungen, wenn die Dorsalfläche der Hand der Platte zugekehrt ist, befinden sich die volaren Theile der Carpalknochen — mit Ausnahme der Eminentiae Carpi — in einer Entfernung von der Platte von ungefähr 3^{cm}. Die grösste Vergrösserung, welche auf den Bildern der Carpalknochen in den Figg. 1 bis 7 Taf. V vorkommt, ist also etwa $40:37 = 1.08:1$. Wenn man auf den Randbildern der Flexionsstellungen (Figg. 14 bis 20 Taf. VII) nur die nach der Platte gekehrte Hälfte der Handwurzel berücksichtigt, so ist auf diesen Bildern die grösste Vergrösserung etwa $40:35 = 1.14:1$, weil die von der Platte abgekehrte Fläche des Capitatum sich in einer Entfernung von derselben von etwa 5^{cm} befunden hat.

Einige Versuche über die Wirkung des Coffeins auf
das Herz des Kaninchens,
sowie ein Vergleich zwischen der Coffein- und der
Digitalinwirkung.¹

Von

C. G. Santesson.

(Aus der pharmakologischen Abtheilung des Carolinischen Instituts
zu Stockholm.)

(Hierzu Taf. VIII u. IX.)

1. Einleitung.

Die Wirkung des Coffeins auf das Herz ist von zahlreichen Forschern sowohl an Kalt-, wie an Warmblütern genau studirt worden, und in den letzten Jahren haben Hedbom² und J. Bock³ den Einfluss desselben auf in verschiedener Weise arbeitende isolirte Säugethierherzen untersucht. In Bezug auf die ältere Litteratur über den Gegenstand kann ich im Ganzen auf diese Arbeiten verweisen und nur das für meine Aufgabe Nothwendige hier nochmals in Erinnerung bringen.

Der Anlass dazu, dass ich die Frage über die Wirkung des Coffeins

¹ Der Redaction am 10. September 1901 zugegangen.

² K. Hedbom, *Dies. Archiv.* 1899. Bd. IX. S. 1.

³ J. Bock, *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* 1900. Bd. XLIII. S. 367 bis 399. — Dänisch in *Overnsigt over det kgl. danske Videnskabernes Selskabs Forhandling.* 1899. Nr. 6. S. 615 bis 658.

auf das Sngerherz wieder aufgenommen habe, lag darin, dass die Versuche an isolirten Herzen zum Theil von einander abweichende Resultate gegeben haben, und dies zwar in einem Punkt, der für die Verwendung des Coffeins als Arzneimittel bei Herzkrankheiten von Bedeutung ist. Einerseits wurde darin ein die Leistungen des Herzens stärkendes Mittel gesehen — die Praktiker fangen ja auch an, das Coffein als ein „Herztonicum“ zu betrachten¹ — andererseits wurde dasselbe als ein die Leistungen des Herzmuskels im Ganzen schwchendes Gift dargestellt. Es schien mir unter diesen Umständen geboten, zu versuchen, den Einfluss auf das Herz *in situ*, in Verbindung mit Gefässen und Nervensystem, nach einer Methode zu studiren, die eine etwas mehr eingehende Controlle als die einfachen Blutdruckversuche ermöglicht. Die Resultate der eben erwähnten früheren Untersuchungen sind mit Rücksicht auf die dabei benutzten Methoden unzweifelhaft, jede für sich, ganz richtig und von grossem Interesse; doch scheint mir für die richtige Auffassung der Coffein-Herzwirkung, wie sie am ganzen Thiere (und am Menschen) sich gestalten dürfte, noch etwas zu fehlen, einige ergänzende Versuche und Besprechungen nicht ganz überflüssig zu sein.

Ehe ich auf die von mir benutzte Methode und meine eigenen Versuche übergehe, werde ich zuerst die oben besprochene Differenz der Resultate und Anschauungen früherer Forscher etwas näher besprechen. Hedbom, der mit dem Langendorff'schen Apparate arbeitete, also die Contraktionen eines mit leeren Cavitäten beinahe widerstandslos arbeitenden Herzens unter Durchströmung der Coronargefässe mit Blut aufschrieb, kam zu dem Resultate, dass das Coffein sowohl die Pulsfrequenz, als auch die „Amplituden“ des Herzens vergrösserte, oft die Coronarcirculation beschleunigte, meistens eine schlechte Herzthätigkeit besserte, mit einem Worte, einen in allen Richtungen günstigen Einfluss auf das Herz ausübte.

Bock kam, wie oben schon angedeutet, bei seinen Versuchen zu einem theilweise hiervon abweichenden Ergebniss. Das nach seiner bekannten Methode² präparirte Herz arbeitet mit Blut in seinen Cavitäten; das Blut wird in den Lungen wie gewöhnlich arterialisirt; Coronarcirculation ist natürlich auch vorhanden; der grosse Kreislauf

¹ Für das nahestehende Theobromin (Diuretin) ist diese Auffassung z. B. von J. Pawinski auf Grund klinischer Beobachtungen geltend gemacht worden. *Zeitschr. f. klin. Med.* 1894. Bd. XXIV. S. 815.

² J. Bock, *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* 1898. Bd. XLII. S. 158.

ist von einem Apparate ersetzt, der dem vom Herzen kommenden Blute einen so grossen Widerstand leistet, dass ein ungefähr normaler Druck — in dem einen Carotis gemessen — unterhalten wird. Der Widerstand bleibt unverändert; der arterielle Druck hängt also von der Herzarbeit allein ab. Der venöse Zuflussdruck ist ein sehr niedriger und nahezu constanter; eine erwähnenswerthe Veränderung der Strombahn des kleinen Kreislaufs kommt also nicht vor. Der Einfluss des Centralnervensystems auf das Herz ist aufgehoben. Die Blutdruckcurve giebt unmittelbar die Pulsfrequenz; diese, mit der Druckhöhe verglichen, lässt Schlüsse auf die Pulsvolumina ziehen.

Mit dieser Methode, deren Grundzüge ich hier wieder zum besseren Verständniss der folgenden Darstellung kurz in Erinnerung bringen musste, gelangte Bock zu folgenden Resultaten: die Frequenz wurde durch das Coffein immer gesteigert, der Blutdruck, zuweilen (bei kleinen Gaben) anfangs etwas erhöht, sonst im Wesentlichen mehr oder weniger stark herabgesetzt. Kleine Gaben von Strophantin konnten nachher, sogar ohne die Pulszahl herabzusetzen (vgl. Vers. II)¹, den Blutdruck wieder in die Höhe bringen.

Was die Steigerung der Pulszahl betrifft, spricht Bock auf Grund der Versuche früherer Forscher (Johannsen, Wagner) über den Einfluss von Vagusreizung und Atropinisirung die Meinung aus, dass sie nicht auf einer Vaguslähmung, sondern auf einer Reizung der accelerirenden, nervösen Apparate des Herzens beruht. Hiermit stimmt Hedbom's Resultat gut überein, wenn er sich auch nicht über die (nervöse oder musculäre) Natur dieser Wirkung des Giftes äussert.

Die Pulsvolumina wurden aber in Bock's Versuchen durchgehends herabgesetzt. Die zuweilen anfangs beobachtete geringe Blutdrucksteigerung hing, wie Bock hervorhebt, sicherlich nicht von einer Vergrösserung der Pulse, sondern von einer Steigerung der Frequenz bei noch nicht stärker verminderten Pulsvolumina ab. Diesen ungünstigen Einfluss auf die Herzleistung schreibt Bock auf Rechnung einer directen Muskelwirkung des Coffeins, welches — im Gegensatz zu den Stoffen der Digitalinreihe — die „Elasticität“ des Herzmuskels, vor Allem seine diastolische Dehnbarkeit, herabsetzen soll; und er weist in diesem Zusammenhange auf die von Johannsen entdeckte, starremachende Wirkung des Coffeins auf die Substanz der

¹ J. Bock, *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* 1900. Bd. XLIII. S. 372 bis 373.

Skelettmuskeln und des Herzmuskels beim Frosch hin. Bock hebt mit Recht hervor, dass, da bei seiner Methode die Herzen unter viel günstigeren, mehr physiologischen Verhältnissen als Hedbom's Präparate gearbeitet haben, sicherlich auch seine eigenen Resultate ein naturgetreueres Bild der Herzwirkung des Coffeins geben dürften.

Diese letzte Meinung scheint auf unzweifelhaft richtige Voraussetzungen begründet zu sein. Und doch sprechen gewisse andere Beobachtungen dafür, dass die Ergebnisse Hedbom's, da er eine Steigerung der „Amplituden“ des Coffeinhertzens beobachtete, nicht ganz ohne Interesse waren. So wies bekanntlich Dreser¹ an Skelettmuskeln des Frosches nach, dass kleine Coffeingaben die Dehnbarkeit des ruhenden Muskels steigerte, die absolute Kraft und die Arbeitsleistung desselben bedeutend erhöhte. Für das Froschherz zeigte derselbe Forscher² dass das Coffein sowohl die absolute Kraft steigerte, als auch die Pulsvolumina etwas grösser machte. Damit ist kein Beweis dafür geliefert, dass nicht das Gift die Leistungsfähigkeit des Sägerherzmuskels herabsetzen kann. Andererseits erwecken diese Thatfachen den Gedanken, dass das für die Coffeinwirkung ungünstige Resultat Bock's doch vielleicht aus den dabei herrschenden physikalischen Bedingungen sich ableiten liesse und nicht unter allen Umständen, für ganze Thiere mit veränderlichem Widerstand der Gefässe und unter Controle des Centralnervensystems in aller Strenge gültig sein dürfte.

Eine mittlere Stellung nimmt Cushny³ ein. Nach ihm hat das Coffein an sich bei Sägerherzen nur eine Pulsbeschleunigung, aber keine Veränderung der Pulsvolumina zur Folge. Die Steigerung der Pulszahl hängt von einer Muskelwirkung des Giftes ab: dieses steigert die Irritabilität des Herzmuskels — daher die grössere Pulsfrequenz, die auch nach Ueberschneiden der Acceleranten und nach vorheriger Atropinvergiftung mit der Zufuhr des Coffeins hervortritt. Zufälliger Weise kann eine centrale Vagusreizung die Pulszahl mässigen oder sogar herabsetzen; gewöhnlich ist dies aber nicht der Fall. Die meistens hervortretende Steigerung der Pulsfrequenz ist nicht immer von einer Vergrösserung der in der Zeiteinheit ausgetriebenen Blutmengen begleitet (Verf. citirt hier Bock), obgleich dies oft der Fall ist. „Apparently the contractions of the ventricle follow each other so

¹ H. Dreser, *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* 1890. Bd. XXVII. S. 81 bis 88.

² Derselbe, *Ebenda*, 1887. Bd. XXIV. S. 233 u. fig.

³ A. Cushny, *A textbook of pharmacology etc.* Second edition. 1900. S. 242 u. fig.

rapidly that the time is often insufficient for the inflow of the usual amount of blood.“ Die Steigerung des Blutdruckes nach Coffein hängt daher zum grössten Theil von der Wirkung auf die vasomotorischen Centren ab, „although not infrequently this is supplemented by an increased efficiency of the heart“. — Nach Cushny steigert doch thatsächlich das Coffein die Leistung des Herzens, indem dasselbe dazu gebracht wird, gleich grosse Pulse wie vorher, aber in grösserer Anzahl pro Minute und gegen einen stärkeren Widerstand auszuführen,

Ein von den Versuchen Bock's (Vers. XV)¹ ist hier von Interesse. Ein Kaninchenherz zeigte im Bock'schen Apparate nach Zufuhr von Coffein die bei seinen Versuchen gewöhnlichen Erscheinungen: schnelleren Puls und Herabsetzung des Blutdruckes. Dann wurde der Widerstand im Apparat (einer Gefässcontraction im grossen Kreislauf entsprechend) gesteigert. Sofort stieg der Druck, sogar etwas höher als vor der Vergiftung; die Pulszahl blieb unverändert, die absolute Kraft des Herzens war ein wenig niedriger als im Anfang des Versuches.

Zwar geht aus diesem Versuche kein besonders günstiger Einfluss des Coffeins hervor, denn die grössere Leistung des Herzens, welche hier nach Steigerung des Widerstandes hervortrat, hing von dieser und nicht vom Gifte ab. Es ist doch bemerkenswerth, dass das Herz, trotz der Einwirkung des Coffeins, das an sich die Pulsvolumina herabsetzen soll, dessen ungeachtet bei gesteigertem Widerstande einer bedeutend grösseren Leistung fähig ist. Es lässt sich allerdings nicht sagen, ob nicht das unvergiftete Herz bei Steigerung des Widerstandes einen noch höheren Blutdruck hervorgebracht hätte. Andererseits erweckt der hier eben besprochene Versuch bei mir den Gedanken, dass vielleicht die von Bock als Wirkung des Coffeins immer beobachtete Herabsetzung der Pulsvolumina (und dadurch des Blutdruckes) weniger von einem functionserniedrigenden Einfluss des Giftes auf den Herzmuskel, als davon abhängen könnte, dass das Herz bei Beschleunigung des Pulses ohne gleichzeitige Erhöhung des Widerstandes (und ohne einem besonders kräftigen, pulsvergrössernden Irritament, denn ein solches scheint das Coffein kaum zu sein), durch die zeitlichen und mechanischen Bedingungen seiner Thätigkeit an sich dazu gebracht wird, kleinere Pulsvolumina auszuführen.

Wenn das normale Herz bei einer mässigen Pulsfrequenz und gegen einen geeigneten Widerstand arbeitet, führt es sicherlich eine verhältnissmässig grosse Leistung aus, und man darf kaum erwarten,

1 J. Bock, *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* 1900. Bd. XLIII. S. 396.

dass dasselbe bei bedeutender Beschleunigung des Pulses so grosse Volumina entleeren wird, dass dadurch der Druck sich unverändert hält oder geradezu steigt; denn das Organ findet dann — wie Cushny schon andeutet (siehe oben) — nicht mehr die nöthige Zeit, genügend grosse Pulsationen auszuführen. Nur wenn gleichzeitig der Widerstand (hinnen gewissen Grenzen) gesteigert worden ist, wird der Herzmuskel durch die dabei stattfindende stärkere Dehnung unter Mitwirkung des Giftes, das die Contraction des Herzmuskels begünstigt, zu einer mehr energischen Thätigkeit — zu schnelleren und doch mehr ausgiebigen Bewegungen — gebracht. Das Coffein scheint doch andererseits nicht eine Steigerung der Herzleistung bei zunehmendem Widerstand zu verhindern. Es ist ja übrigens auch mit dem Digitalis der Fall, dass es in kleinen und mässigen Gaben vollkommen normal arbeitende Herzen nur wenig beeinflusst und erst unter pathologischen Verhältnissen seine charakteristischen Wirkungen recht entfaltet. Es könnte wohl mit dem Coffein sich gewissermaassen ähnlich verhalten. An ganzen Thieren (oder Menschen) ist nicht selten bei der Coffeinwirkung eine Vagusreizung mit im Spiel, die die Pulsbeschleunigung mässigen und dadurch eine ausgiebigere Herzaction ermöglichen kann — ein Faktor, der auch von Bedeutung sein dürfte. Um diese Verhältnisse etwas zu beleuchten, sind die unten zu beschreibenden Versuche ausgeführt.

Die Frage dagegen, ob das Coffein auf das Herz an sich, unabhängig von der stattfindenden Blutdrucksteigerung, so einwirkt, dass die Pulsvolumina dadurch gesteigert werden, habe ich — wie ich unten näher erörtern werde — mit der von mir benutzten Methode nicht bestimmt in der einen oder in der anderen Richtung entscheiden können; die Antwort derselben muss sicherlich, je nach den verschiedenen mechanischen Bedingungen, verschieden ausfallen. Die Aufgabe meiner Versuche habe ich eher darin gesehen, dass ich ermitteln wollte, inwieweit das Herz unter dem Einflusse des Coffeins den durch die Blutdrucksteigerung gestellten grösseren Anforderungen entsprechen kann. Diese Aufgabe scheint mir von grosser Bedeutung zu sein; denn darin liegt die Entscheidung der Frage: ist das Coffein ein „Herztonicum“. Zwar haben viele Praktiker auf Grund von Erfahrungen am Krankenbette, ihrer Ansicht nach, klinisch diese Frage schon erledigt. Es dürfte doch nicht ganz ohne Interesse und Werth sein, derselben auch experimentell nachzugehen.

2. Die Versuchsmethode.

Wie oben schon angedeutet, wollte ich die Wirkung des Coffeins auf Säugethierherzen untersuchen, die mit Gefäss- und Nervensystem wie gewöhnlich in Verbindung standen, und zwar mittels einer Methode, die, menn möglich, nähere Schlüsse über den Zustand des Herzens als die einfachen Blutdruckversuche gestatten möchte. Ich habe zu diesem Zwecke das von Johansson und Tigerstedt¹ früher für das Studium der gegenseitigen Beziehungen des Herzens und der Gefässe angewandte Verfahren gebraucht, nämlich das Pericardium als Pletysmograph benutzt, mit Hülfe des Pistonrecorders von Ellis die Volumveränderungen der intrapericardialen Organe registriert und gleichzeitig auch den Blutdruck in gewöhnlicher Weise aufgezeichnet. Die Absicht war, dass man mit Hülfe der Recordercurve gewisse Schlüsse über die Grösse der Herzcontractionen und über den Füllungsgrad des Herzens vor und während der Giftwirkung ziehen könnte.

Zwar wusste ich wohl, dass die Anwendung dieser Methode und die Beurtheilung der Resultate mit grossen Schwierigkeiten verbunden war: die nöthigen Operationen sind eingreifend und die Recordercurve schwer zu deuten. Doch war es ja immerhin möglich, dass die Versuche die aufgeworfene Frage in aufklärender Weise beleuchten könnten.

Die pericardial-pletysmographische Curve haben Johansson und Tigerstedt näher besprochen und analysirt, und sind dabei zu dem Resultate gekommen, dass man bei richtig ausgeführten Versuchen daraus gewisse Schlüsse in Bezug auf die Herzarbeit ziehen kann; vor Allem lässt sich bis zu gewissem Grade controliren, ob das Herz mehr oder weniger Blut austreibt wie vorher, sowie ob eine grössere oder geringere Blutmenge an der Höhe der Diastole im Herzen zurückbleibt (ob „Stase“ im Herzen sich entwickelt). Sowohl die Grösse der Recorderpulse, als auch ihre Entfernung von der Abscisse sind dabei zu berücksichtigen. Das Ergebniss der Analyse der erwähnten Forscher lässt sich etwa in folgenden Punkten zusammenfassen:

1. Wenn bei steigendem Widerstande Seitens der Gefässe (bei Erhöhung des Blutdruckes, für sich gemessen) die Volumvariationen der Recordercurve grösser werden (während meistens gleichzeitig die ganze

¹ J. E. Johansson und R. Tigerstedt, *dis. Archiv.* 1889. Bd. I. S. 331 bis 342, besonders S. 342 bis 351, sowie 1891. Bd. II. S. 409 u. fig. Siehe ebenda die ältere Litteratur über die Pletysmographie des Säugethierherzens.

Curve sich von der Abscisse entfernt), lässt sich daraus der Schluss ziehen, dass das Herz mehr Blut als vorher aus dem Pericardialraum austreibt; doch kann zu gleicher Zeit eine gewisse „Stase“ im Herzen sich entwickeln. Wie sich die Volumina der einzelnen Pulse verhalten, hängt von der Pulsfrequenz ab.

2. Wenn bei steigendem Widerstande Seitens der Gefässe die Recorderpulse gleich bleiben, treibt zwar das Herz mehr Blut wie vorher aus — doch ist dabei sicher zunehmende „Stase“ vorhanden.

3. Wenn bei steigendem Widerstande Seitens der Gefässe die Recorderpulse zwar abnehmen, doch die Abnahme (absolut) geringer ist, als die Entfernung der „diastolischen Linie“¹ von der Abscisse zunimmt, so treibt das Herz mehr Blut wie vorher aus.

4. Wenn dagegen die „diastolische Linie“ sich weniger von der Abscisse entfernt als die Recorderpulse abnehmen, wird weniger Blut aus dem Herzen herausgetrieben.

5. Wenn die ganze Recordercurve sich von der Abscisse entfernt und ihre Pulsationen gleichzeitig kleiner werden, nimmt die „Stase“ im Herzen (Pericardialraume) zu.

An normalen Thieren (Kaninchen) kamen Johansson und Tigerstedt mit der erwähnten pletysmographischen Methode in Bezug auf die gegenseitige Beziehung des Herzens und der Gefässe zu folgenden Schlüssen:

1. Wenn der Druck mässig steigt, treibt das Herz mehr Blut wie vorher aus; wird die Druckerhöhung bedeutend, nimmt dagegen die ausgeworfene Blutmenge ab.

2. Eine geringe Drucksteigerung kann ohne „Stase“ im Herzen stattfinden; oft — und bei grösserer Druckerhöhung immer — bildet sich doch eine mehr oder weniger bedeutende „Stase“ aus.

3. Bei steigendem Blutdruck hebt sich die ganze Recordercurve von der Abscisse empor, woraus hervorgeht, dass die intrapericardialen Organe stärker mit Blut gefüllt werden. Dies hängt davon ab, dass die Gefässcontraction den Rückfluss des Blutes zum Herzen befördert. In erster Linie beruht die Volumzunahme der intrapericardialen Organe auf einer grösseren Blutfüllung der rechten Herzhälfte. Da gleichzeitig meistens nicht nur die „diastolische“, sondern auch die „systolische Linie“ sich von der Abscisse entfernt, hängt das zunächst davon ab, dass die rechte Kammer nicht sofort im Stande ist, die grössere

¹ Die „diastolische Linie“ entsteht durch Verbindung der höchsten Endpunkte der Recorderpulsationen; die aufsteigenden Curventheile bezeichnen nämlich die Diastole, die herabsteigenden die Systole.

Blutmenge auszutreiben; ihre Pulsvolumina können jedoch gesteigert sein. Bald füllt sich aber auch die linke Herzhälfte stärker, und das Blut vertheilt sich mehr gleichmässig innerhalb des Herzens. Wenn aber der Druck immer mehr steigt, nähert er sich einer Grenze, wo die ausgeworfenen Blutmengen abnehmen und die „Stase“ im Herzen dahin gesteigert wird, dass in der Regel der Blutdruck nicht mehr in die Höhe getrieben werden kann. Ehe diese regulirende Herabsetzung der Herzleistung eintritt, sind doch meistens bei Steigerung des Blutdruckes die ausgetriebenen Blutmengen vergrössert.

Nachdem ich hiermit nach Johansson und Tigerstedt kurz angedeutet habe, was die Pericardialpletysmographie unter gleichzeitigem Messen des Blutdruckes geben kann und an normalen Thieren gegeben hat, müssen wir noch einen, in methodischer Hinsicht schweren Punkt berücksichtigen. Der Pericardialraum ist nicht von festen Wänden begrenzt; vor Allem können diese durch die Bewegungen der Lungen verschoben und dadurch die pletysmographische Curve beeinflusst werden. Um diesen Fehler zu vermeiden, haben Johansson und Tigerstedt bei einem Theile ihrer Versuche eine geeignet geformte Metallplatte zwischen Pericardium und Lungen hineingeschoben. Für gewisse Zwecke haben sie doch diese Complication der Versuchstechnik unnöthig gefunden. Ich habe bei meinen Versuchen die Platte nicht benutzt; und ich habe mich davon überzeugen können, dass der directe Einfluss der Lungenbewegungen, d. h. die durch Druck und Zug der Lungen von aussen her hervorgerufenen Volumveränderungen des Pericardialraumes, thatsächlich sehr gering ist. Dagegen wirken die Athembewegungen — wie auch Johansson und Tigerstedt bei Versuchen mit Anwendung der erwähnten Platte beobachtet haben — in anderer Art sehr deutlich auf die Form der Recordercurven ein, indem sie den Blutstrom durch die Lungen beeinflussen; das lässt sich aber natürlich nicht vermeiden. Wie die (künstliche) Respiration (die Lungenaufblähung) die Recorderpulse verändert, geht aus nachstehender Curve (Fig. 1) hervor, wo bei Unterbrechung der künstlichen Athmung nur die Herzbewegungen aufgezeichnet wurden.

Dass nicht nur die künstliche Respiration, sondern auch die spontane ähnliche Veränderungen der pericardial-pletysmographischen Curve hervorriefen, hatte ich auch Gelegenheit zu beobachten, da meine Thiere nicht curarisirt waren und ich nach Einbindung der Pericardialcanüle meistens den Brustkasten verschloss (siehe unten), so dass spontane Athmung möglich war und auch zuweilen nach Unterbrechung der künstlichen Athmung thatsächlich eintrat. Fig. 2 *b* und *c* zeigt

eine solche Recordercurve, die während einer Periode von spontaner Athmung gezeichnet wurde.

Wie wenig die Lungenaufblähung an sich — von ihrem Einfluss

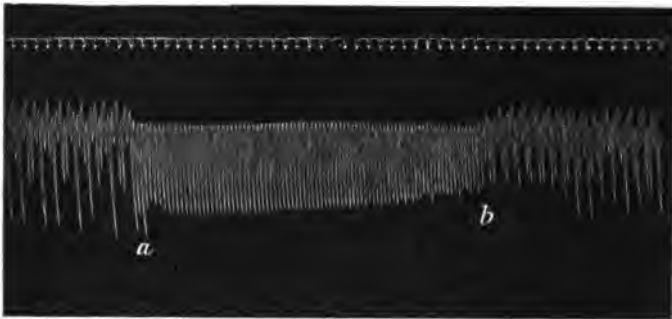


Fig. 1. [Vers. III, Observ. 5, S. 277]. Einfluss der Lungenaufblähung auf die Recordercurve. Bei *a* wurde die künstliche Athmung ausgeschaltet (Apnoë; kein Curare), bei *b* wieder in Gang gesetzt.

auf den Blutstrom abgesehen — auf die Recordercurve einwirkte, geht aus mehreren meiner Beobachtungen hervor, indem ich am Ende der

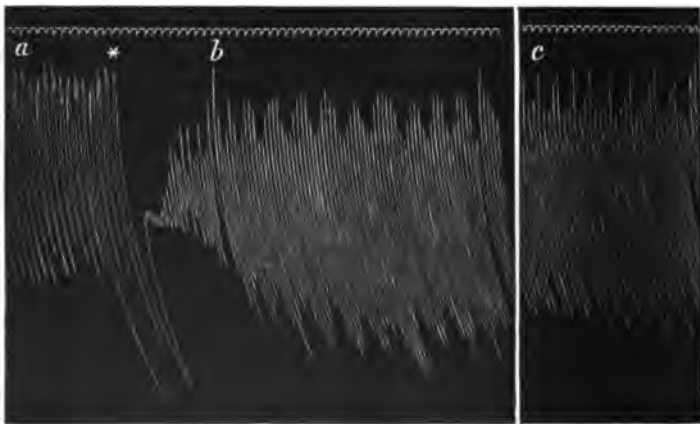


Fig. 2. [Vers. III, Observ. 34, 35 u. 37, S. 279]. Respiratorische Variationen der Recordercurve. *a* Künstliche Athmung; bei * wird diese unterbrochen; bei *b* setzt spontane Athmung ein; *c* (später) fortwährend spontane Athmung — mehr ausgeprägte respiratorische Variationen. (Die Curven sind um ein Drittel verkleinert.)

Versuche meine Herzen unter Fortsetzung der künstlichen Athmung mit einem Gift — Cyankalium, Helleborein, Digitalin oder Strophantin — in kurzer Zeit zum Stillstand brachte. Die Pulsationen der

Recordercurve nahmen dabei schnell ab, und wenn das Herz nicht mehr arbeitete, zeichnete der Recorder beinahe eine gerade Linie oder nur sehr kleine, den Blähungen der Pumpe entsprechende Variationen. Da das Herz durch Cyankalium gelähmt wurde, konnte man sich denken, dass das enorm angeschwollene Organ den ganzen Pericardialraum ausfüllen und vielleicht sogar die Oeffnung der Canüle zustopfen könnte. Dies war bei Vergiftung mit Strophantin, Digitalin oder Helleborein wahrscheinlich nicht der Fall, da diese Gifte bekanntlich meistens anfangs einen systolischen oder halbsystolischen Stillstand hervorbringen, welcher nur allmählich einer Erschlaffung Platz macht. Die folgenden Curven (Fig. 3) zeigen Beispiele des hier besprochenen Verhaltens.

Unter Umständen pressen also die Lungen bei ihrer Aufblähung ein wenig auf den Pericardialraum; mehrmals konnte ich aber nach Stillstand des Herzens keine Spur der regelmässigen respiratorischen Variationen entdecken. Der directe Einfluss der Lungenbewegungen auf den Pericardialraum schien also in meinen Versuchen ein sehr geringer zu sein oder ganz zu fehlen. Ich schliesse daraus, dass die oft sehr bedeutenden respiratorischen Variationen der Recordercurve, welche während der Thätigkeit des Herzens beobachtet wurden, zum grössten Theile davon abhingen, dass der Blutstrom in den Lungen durch die Aufblähungen (oder die spontanen Athmungsbewegungen) dieser Organe beeinflusst wurde. Das Pericardium scheint somit als ein recht zuverlässiger Pletysmograph zu dienen; es dürfte also erlaubt sein, der Recordercurve ein gewisses Vertrauen zu widmen.

Nach diesen Besprechungen der Methode gehe ich dazu über, die Präparation zu beschreiben. Die gewogenen Thiere (Kaninchen) wurden mit Aether narcotisirt, dann Tracheotomie ausgeführt, Canüle in V. jugul. ext. sin. und in A. carotis dext. eingebunden. Nachher wurden mit Thermocauterium die Haut der Brust und die Pectoralismuskeln wegpräparirt, das Sternum von dem abgebrochenen Schwertfortsatze her nach oben mit einer starken Schere durchschnitten. Das Manubrium wurde doch nicht vollständig gespalten. Die Blutung war meistens mässig stark und blieb bald stehen, nachdem die Mammargefässe oben von der Sternalspalte aus in Massenligaturen gefasst worden waren. Meistens wurde jetzt künstliche Athmung eingeleitet. Die niederen Theile des Brustkastens, der Spalte entlang, wurden von den Weichgebilden des Mediastinum anterius vorsichtig losgelöst und mittels zweier Fäden nach den Seiten gezogen. Dann wurde die vordere untere Spitze des Pericardiums mit zwei nahe neben einander



Fig. 3 zeigt, wie wenig die Recordercurve nach Lähmung des Herzens von der künstlichen Athmung beeinflusst wird. *A* [Vers. IV, Eade, S. 281] Cyankalium; das Herz schwillt stark an. *B* [Vers. I, Obser. 32, S. 275] Digitalinum pur. amorph. (Merck); das Herz schwillt kaum an. *C* [Vers. VI, Obser. 81, S. 284] Helleborein (Merck); das Herz zieht sich stark zusammen; nach Aufhören der Herzschläge zeigt noch die Curve kleine respiratorische Variationen, welche aufhören, wenn die künstliche Athmung ausgeschaltet wird (*). Fig. 3 *C* ist zu $\frac{1}{2}$ der natürlichen Grösse reducirt.

angelegten Arterienpincetten gefasst, eine feste Ligatur rund um dieselben lose angebracht (ohne zuzuziehen), das Pericardium zwischen den Pincetten mit einer kleinen Scheere gespalten, eine Glascanüle — wie Johansson und Tigerstedt sie abgebildet haben — in den Pericardialraum eingeführt und die erwähnte starke Ligatur zugezogen. Oft wurde diese durch eine zweite, etwas tiefer angelegte Ligatur verstärkt, ehe die Pincetten entfernt wurden.

Wenn die Einbindung der Pericardialcanüle ausgeführt worden war, wurden meistens die beiden Hälften des Brustkastens wieder an einander angelegt und zusammengebunden. Die Pericardialcanüle ragte, dem Bauche entlang, aus dem unteren Ende der Brustwunde hinaus und lag in dieser Stellung so ziemlich fixirt. Sie wurde nachher mit dem Pistonrecorder verbunden. Zuletzt wurde die Carotiscanüle mit einem Quecksilbermanometer in Verbindung gesetzt, um in gewöhnlicher Weise den Blutdruck zu registriren. Der Recorder schrieb an die Trommel eines Ludwig-Baltzar'schen Registrirapparates, von der Blutdruckcurve gesondert, seine Pulsationen auf. Die Zeit (Secunden) wurde an beiden Curven von derselben Uhr gezeichnet und „correspondirende Punkte“ oft notirt.

In den Versuchen von Johansson und Tigerstedt wurde ein Theil des Brustkastens entfernt, die Pericardialcanüle etwas in die Höhe gehoben, so dass das Pericardium gespannt wurde, und dann in dieser Stellung fixirt. An curarisirten Thieren war diese Anordnung möglich und bot grosse Sicherheit gegen zufällige Verschiebungen dar. Ich wollte aber am liebsten das Curare vermeiden, da ich die Wirkungen eines anderen Giftes, des Coffeins, zu untersuchen wünschte, und bei meinen Thieren waren also zufällige Bewegungen, vielleicht sogar krampfhaftes Zuckungen zu erwarten. Es war mir daher unmöglich, die Canüle unbeweglich zu fixiren: sie musste, so weit thunlich, den Bewegungen des Thieres, die immerhin nie sehr ausgiebig waren, folgen können. Ich glaube, dass ich mittels der oben beschriebenen Anordnung dieses Ziel ziemlich gut erreicht habe. Kleine Verschiebungen könnten allerdings vorkommen und unter Umständen bedeutende Veränderungen der Lageverhältnisse im Herzbeutel, sowie der Uebertragung der Volumvariationen hervorbringen; sie wären doch sicher sofort an der Recordercurve zu controlliren. Einige Male sind plötzliche Veränderungen des Aussehens dieser Curve thatsächlich beobachtet — sie hingen vielleicht in gewissen Fällen von solchen Verschiebungen der Canüle ab; sie können doch nie für Wirkungen des Coffeins gehalten werden. Zwischen denjenigen Theilen eines Versuches, die zunächst mit einander verglichen werden, um den Einfluss einer

Giftinjection zu ermitteln, dürfen natürlich keine solchen Sprünge stattgefunden haben.

Die Giftlösungen wurden in V. jugul. ext. eingespritzt. Von dem benutzten Coffeinpräparate, Coffein. natrico-benzoicum, wurde eine 0.5 procent. wässrige Lösung mit 0.9 Proc. Kochsalz verwendet.

Die Versuche, zu denen ich jetzt übergehe, sind im Frühlingssemester 1901 in dem physiologischen Laboratorium des Carolinischen Instituts unter Assistenz von Herrn Cand. med. Esaias Cederlôw ausgeführt worden.

3. Eigene Versuche.

Wenn auch meine Versuche sämmtlich einen im Ganzen gleichartigen Verlauf aufweisen, muss ich doch, um eine Controle Anderer zu ermöglichen, dieselben ziemlich ausführlich hier mittheilen. Ich gebe daher für jeden einzelnen Versuch ein Protokoll mit Angabe der Pulsfrequenz (Columnne c), des Blutdruckes (Col. d) und der Grösse der Recorderpulse, sowie mit nöthigen Notizen (Col. e) und mit zahlreichen Abbildungen der Recordercurven (siehe Tafel VIII und IX hinten). Was die Grösse der Recorderpulse betrifft, wechselt sie rhythmisch in hohem Masse meistens unter dem Einflusse der Respirationsbewegungen (siehe oben). Um einen Vergleich der verschiedenen Abschnitte dieser Curve zu erleichtern, ist zuerst die Höhe der grössten, regelmässig vorkommenden Recorderpulsationen unreducirt aufgeführt (Col. e); einzelne, noch grössere Excursionen sind zuweilen zwischen Klammern mitgetheilt. Die Vergrösserung des Recorders konnte nicht in allen Versuchen gleich gehalten werden, weil dieselbe, um Ausschläge geeigneter Grösse zu erhalten, in dem einen Falle eine bedeutendere, in dem anderen eine geringere sein musste. Nachdem der Recorder im Anfang jedes Versuches eingestellt worden war, blieb er natürlich während des ganzen Versuches in derselben Stellung.

Dann wurde, um eine noch genauere Uebersicht der Veränderungen der Herzthätigkeit zu ermöglichen, an allen wichtigeren Punkten des Versuches die Mittelzahl der Höhen einer genügend grossen Gruppe (10 oder 20) einander folgender Recorderpulse (Col. f) bestimmt. Diese Werthe geben das genaueste (relative) Maass der Volumveränderungen der intrapericardialen Organe. Von absoluten Angaben (in Cubikcentimetern) muss ich absehen, weil ich die Vergrösserung des Recorders nicht jedesmal notirt habe. Für meinen Zweck ist dies auch gleichgültig.

Die Bestimmung dieser Mittelzahl ist nicht selten mit Schwierigkeit verbunden, indem die Curve neben grossen, deutlichen Variationen auch oft kleine Zacken und Unebenheiten aufweist, von denen man nicht sicher weiss, ob sie wirklichen Herzschlägen entsprechen oder nicht. Die Entscheidung dieser Frage ist aber natürlicher Weise für die Berechnung der Mittelzahl der Pulsgrössen von entscheidender Bedeutung. Ich habe daher in jedem etwa zweifelhaften Falle so verfahren, dass ich das Resultat der Pulsrechnung an der Recordercurve mit demjenigen verglichen, das ich an der gleichzeitig gezeichneten Blutdruckcurve meistens ziemlich genau bestimmen konnte. Wenn die Recordercurve richtig beurtheilt worden war, musste die daran bestimmte Pulsfrequenz mit der aus der Blutdruckcurve hervorgegangenen übereinstimmen. Kleine Differenzen waren natürlich unvermeidlich; wenn diese aber bedeutender waren (zu 10 bis 20 Einheiten oder darüber stiegen), war offenbar die Deutung der Recordercurve unrichtig; es müssten diese oder jene kleine Zacken mitgezählt bzw. weggelassen werden. In dieser Weise glaube ich; dass ich ziemlich genaue Mittelwerthe bekommen habe; ohne Berücksichtigung dieser Einzelheiten kann man dagegen sehr willkürliche oder sogar falsche Resultate bekommen.

Die Grösse der in der Zeiteinheit vom Herzen ausgeführten Arbeit hängt aber auch von der Pulsfrequenz ab. Mit Rücksicht darauf habe ich mir (relative) Werthe zu verschaffen gesucht, indem ich jedes Mal die mittlere Pulsgrösse mit dem gleichzeitig (an der Blutdruckcurve) abgelesenen Werthe der Pulsfrequenz multiplicirt habe (Col. g). Dass diese Zahlen, die „Minutenpulsgrössen“, nur des Vergleiches halber dastehen und keine reelle Bedeutung haben, geht aus dem oben Gesagten klar hervor.

Endlich habe ich, nach dem Vorgange von Johansson und Tigerstedt, den Abstand der „diastolischen Linie“ der Recordercurve von der Abscisse (oder richtiger einen Mittelwerth dieser Abstände für je 10 oder 20 Pulsationen) angegeben (Col. h), um auch diesen Anhaltspunkt zur Beurtheilung der Herzthätigkeit und der Blutbewegung im Pericardialraume zu gewinnen.

Nach den Versuchsprotokollen folgt eine übersichtliche Zusammenstellung und Besprechung der Ergebnisse.

Versuch I. 4. März 1901. Kaninchen, 1975^g. Die zuletzt eingespritzte Digitalinlösung war durch Auflösung von Digitalin. amorph. pur. (Merck), 0.5 pro mille, in physiol. Kochsalzlösung mit Hülfe von einigen Tropfen Alkohol und einer Spur Essigsäure hergestellt.

Nr. der Observat.	Zeit nach Anfang des Versuches in Minuten	Pulsfrequ. in 1 Min.	Blutdruck in Millim. Hg	Maximale Pulse, Millimeter	Recorderpulse			Bemerkungen
					Mittelzahl v. 10 (20) Pulshöhen Millimeter	Mittlere Puls- grösse \times Puls- frequenz	Abstand der „diastol. Linie“ v. der Abscisse	
a	b	c	d	e	f	g	h	i
1.	0	198	86	26.6	12.54	2482.9	20	Die Grösse d. Recorderpulse wech- selt period. Taf. VIII Fig. 1 a Physiol. Kochsalzlös., 1 ^{cm} Injectionsdauer 30".
2.	2'	192	82	34.5	11.73	2252.2	16	
3.	3' 40"	195	80	31.1	13.76	2683.2	16	
4.	4 30	192	88	28.1	11.83	2265.6	15.5	Taf. VIII Fig. 1 b. Physiol. Kochsalzlös., 5 ^{cm} Injectionsdauer 40".
5.	6	192	83	27.0	14.38	2764.8	15.0	
6.	7 20	192	82	—	—	—	—	Kurz nachher Drucksenkun. (Krampf?).
7.	10 10	189	84	46.2	21.94	4139.1	ca. 26	
8.	12	185	67	32.0	21.71	4016.4	ca. 27	Taf. VIII Fig. 1 c. Physiol. Kochsalzlös., 10 ^{cm} . Injectionsdauer 65".
9.	13	183	68	41.1	22.85	4080.9	ca. 26	
10.	13 28	—	—	—	—	—	—	Das Herz schwillt stark an; die Recorderpulse nehmen rasch ab.
11.	14	174	58	25.0	13.64	2373.4	ca. 34	
12.	17	156	46	18.0	12.73	1985.9	ca. 27	Taf. VIII Fig. 1 d. Coffein, 1 ^{cm} ; Injectionsdauer 25".
13.	17 25	—	—	—	—	—	—	
14.	18	162	38	11.0	8.45	1368.9	ca. 27	Taf. VIII Fig. 1 e. Kurz nach- her eine Drucksteigerung.
15.	19	150	46	11.0	—	—	—	
16.	23	132	37	11.3	8.9	1174.8	ca. 23	Taf. VIII Fig. 1 f. Coffein, 3 ^{cm} ; Injectionsdauer 20". Der Druck sinkt anfangs noch mehr ab; die Recorderpulse, zuerst kleiner, wachsen nachher all- mählich.
17.	25	141	42	11.0	—	—	ca. 20	
18.	28	135	48	15.0	11.72	1579.5	ca. 26	
19.	28 20	—	—	—	—	—	—	Taf. VIII Fig. 1 g. Coffein, ca. 4 ^{cm} ; Injections- dauer 37". Anfangs Drucker- niedrigung und unregelmässige zum Theil grosse Recorderpulse (25 ^{cm}). Dann — siehe Obs. 20
20.	30	159	56	14.7	11.05	1757.0	ca. 25	
21.	33	145	55	14.8	11.6	1682.0	ca. 26	
22.	33 20	—	—	—	—	—	—	Coffein, 10 ^{cm} ; Injectionsdauer 53". — Starke Drucksenkung während 1½ Minute sehr un- regelmässige, zum Theil grosse Recorderpulse — s. Obs. 23.

Nr. der Observat.	Zeit nach Anfang des Versuches in Minuten	Pulsfrequ. in 1 Min.	Blutdruck in Millim. Hg	Recordercurve				Bemerkungen
				Maximale Pulse, Millimeter	Mittelzahl v. 10 (20) Pulshöhen Millimeter	Mittlere Puls- grösse \times Puls- frequenz	Abstand der diastol. Linie v. der Abscisse	
a	b	c	d	e	f	g	h	i
23.	34'	174	32	17 [40]	—	—	21 bis 15 [8]	Nachher fängt das Herz mit einem Mal an, regelmässig zu arbeiten; gleichzeitig steigt der Blutdruck rasch an.
24.	35 10"	192	78	15.0	11.28	2169.6	ca. 27	Taf. VIII Fig. 1h.
25.	40	160	71	17.6 [19.3]	13.6	2176.0	ca. 26	
26.	42	156	67	18.0	14.1	2199.6	ca. 26	Taf. VIII Fig. 1i.
27.	45	150	62	17.6	14.27	2140.5	ca. 25	Kurz nachher Digitalin, 1 ^{ccm} ; Injectionsdauer 22".
28.	48	138	58	15.0	—	—	—	Nachher wieder Digitalin, 3 ^{ccm} (in 12"). Drucksenkung.
29.	48 45	—	40	11.0	—	—	—	
30.	52	132	61	13.0	—	—	—	
31.	52 10	—	—	—	—	—	—	Digitalin, 10 ^{ccm} in 35". Schnelle Abnahme der Pulszahl, Blut- druck und Recorderpulsationen bis zum Tode.
32.	52 30	123	51—40	10—5	—	—	—	Bald nur einzelne, sehr schwache Herzschläge. Der Recorder zeichnet dazwischen eine nahezu gerade Linie (Fig. 3 B S. 270).

Versuch II. 13. Februar 1901. Kaninchen, 1640^g schwer.

1.	0	123	47	4.3	2.64	313.8	16.7	Grösse der Recorderpulse wellen- förmig wechselnd. Taf. VIII Fig. 2a.
2.	2'	120	44	4.3	—	—	—	Kürzere Wellen.
3.	3	135	48	5.4	2.53	341.6	15.8	Recorderpulse unregelmässig wech- selnd. Taf. VIII Fig. 2b.
4.	3 12"	—	—	—	—	—	—	Coffein, 0.5 ^{ccm} . Dauer der Ein- spritzung 15".
5.	4	150	61	6.0 [6.9]	—	—	—	
6.	5 30	177	81	10.0	3.92	588	13.1	Taf. VIII Fig. 2c.
7.	5 48	—	—	—	—	—	—	Coffein, 1 ^{ccm} . Injectionsdauer 56".
8.	7	222	90	12.0	—	—	—	
9.	8	210	93	14.0	—	—	—	
10.	9	210	93	15.0	6.33	1329.3	12.1	Taf. VIII Fig. 2d.
11.	9 22	—	—	—	—	—	—	Unterbrechung der künstlichen Athmung während 33". Wäh- rend dieser Zeit: (Obs. 12).

Versuch II. (Fortsetzung.)

Nr. der Observat.	Zeit nach Anfang des Versuches in Minuten	Pulsfrequ. in 1 Min.	Blutdruck in Millim. Hg	Recordercurve				Bemerkungen
				Maximale Pulse, Millimeter	Mittelzahl v. 10 (20) Pulshöhen Millimeter	Mittlere Puls- grösse \times Puls- frequenz	Abstand der „diastol. Linie“ v. der Abscisse	
a	b	c	d	e	f	g	h	i
12.	5' 55"	141	168/132	10.0—2.0	—	—	—	Blutdruck stark wechselnd. Die Recordercurve gleichmässig abnehmend; nachher Druckerndrigung (Obs. 13).
13.	—	—	94	—	—	—	—	
14.	10 30	222	112	9.5	7.79	1729.4	15.5	Recorderpulse gut entwickelt, regelmässig alternirend. Taf. VIII Fig. 2 e.
15.	11 7	—	—	—	—	—	—	Coffein, 1 ^{cem} . Injectionsdauer 37".
16.	12	222	112	8.0	6.32	1403.0	15.5	Typus der Recorderpulse wie bei Obs 14..
17.	17	207	100	9.0	6.92	1432.4	14.6	
18.	17 37	—	—	—	—	—	—	Coffein, 2 ^{cem} . Injectionsdauer: 24". Druckfall (Obs. 19).
19.	17 55	195	64	6.0	4.68	912.6	15.4	Nachher wieder schnelle Drucksteigerung.
20.	18 40	204	98	9.0	5.62	1150.6	14.4	
21.	21	198	96	9.0	—	—	—	
22.	21 19	—	—	—	—	—	—	Erstickung während 10". Effect (Obs. 23).
23.	21 27	111	122/78	11.0—3.0	—	—	—	Recorderpulse regelmässig, schnell abfallend.
24.	21 38	—	72	5.0	—	—	—	Dann Drucksteigerung.
25.	22	186	93	7.0	—	—	—	
26.	23	192	94	7.0	5.09	977.3	12.2	
27.	23 10	—	—	—	—	—	—	Coffein, 1 ^{cem} . Injectionsdauer 54".
28.	24 30	198	96	9.5	5.53	1094.9	12.1	
29.	26	192	94	10.0	—	—	—	
30.	27	190	92	10.0	6.14	1166.6	9.1	Taf. VIII Fig. 2f.
31.	27 27	—	—	—	—	—	—	Coffein, 5 ^{cem} . Injectionsdauer 75".
32.	27 40	183	57	8.0	—	—	—	Druckerniedrigung während d. Injection (Taf. VIII Fig. 2g); dann schnelle Steiger. (Obs. 34—37)
33.	28 40	201	54	7.0	4.0	804.0	9.5	
34.	29 30	204	96	9.4	—	—	—	
35.	30 30	180	95	9.0	—	—	—	
36.	39 30	180	87	12.3	—	—	—	

Versuch II. (Fortsetzung.)

Nr. der Observat.	Zeit nach Anfang des Versuches in Minuten	Pulsfrequ. in 1 Min.	Blutdruck in Millim. Hg	Recorderpulse				Bemerkungen
				Maximale Pulse, Millimeter	Mittelzahl v. 10 (20) Pulshöhen Millimeter	Mittlere Pulsgrösse \times Pulsfrequenz	Abstand der „diastol. Linie“ v. der Abscisse	
a	b	c	d	e	f	g	h	i
37.	40' 30"	180	87	18.0	8.26	1506.8	13.3	Taf. VIII Fig. 2 h.
38.	41	—	—	—	—	—	—	Strophantin (1 pro mille), 2 ^{cem.} Injectionsdauer 54".
39.	42	150	82	10.0	—	—	—	
40.	43	204	94	7.3	—	—	—	Kurz nachher schnelle Drucksenk.
41.	44	180	32	3.0[6.2]	—	—	—	
42.	44 30	0	nahe 0	—	—	—	—	Herzstillstand. Taf. VIII Fig. 2 i.

An Fig. 2i Taf. VIII sieht man, dass der Recorder zuletzt eine beinahe gerade Linie zeichnet, die eine ganz geringe Anschwellung des Herzens andeutet. Die fortgehende künstliche Athmung macht sich auf dieser Linie nicht bemerkbar.

Versuch III. 15. Februar 1901. Kaninchen, 1640^g schwer.

Nr. der Observat.	Zeit nach Anfang des Versuches in Minuten	Pulsfrequ. in Min.	Blutdruck in Millim. Hg	Recorderpulse				Bemerkungen
				Maximale Pulse, Millimeter	Mittelzahl v. 10 (20) Pulshöhen Millimeter	Mittlere Pulsgrösse \times Pulsfrequenz	Abstand der „diastol. Linie“ v. der Abscisse	
a	b	c	d	e	f	g	h	i
1.	0	123	28	9.5	5.88	723.2	11.4	
2.	1' 30"	123	29	13	7.29	896.7	11.3	Recorderpulse wellenförmig wechselnd. Taf. VIII Fig. 3 a.
3.	1 53	—	—	—	—	—	—	Coffein, 0.5 ^{cem.} Injectionsdauer 22".
4.	4	152	36	15.5	8.58	1304.2	11.0	Schnell wechselnde Wellen der Recorderpulse.
5.	5	180	max. 90	12—7	—	—	—	Kurz dauernde Erstickung (Aufhören d. künstl. Athmung). Regelmässig abnehmende Recorderpulse. Siehe Fig. 1 (S. 268.)
6.	6	183	48	16	—	—	—	
7.	7	195	53	18.5	9.34	1821.3	10.0	Grosse Wellen.

Versuch III. (Fortsetzung.)

Nr. der Observat.	Zeit nach Anfang des Versuches in Minuten	Pulsfrequ. in 1 Min.	Blutdruck in Millim. Hg	Recorderpulse				Bemerkungen
				Maximale Pulse, Millimeter	Mittelzahl v. 10 (20) Pulshöhen Millimeter	Mittlere Puls- grösse x Puls- frequenz	Abstand der „diastol. Linie“ v. d. Abscisse	
a	b	c	d	e	f	g	h	i
8.	7' 19"	—	—	—	—	—	—	Coffein, 1 ^{cm} . Injectionsdauer 35".
9.	8 30	210	60	20	9.46	1986.6	9.5	Taf. VIII Fig. 3b.
10.	9 7	216	max. 92	11	—	—	—	Erstickung, 6". Regelmässige gleichgrosse Recorderpulse.
11.	10	216	66	20	9.4	2030.4	10.8	
12.	11 30	222	75	20	9.01	2000.2	11.0	
13.	12 8	—	—	—	—	—	—	Coffein, 2 ^{cm} . Injectionsdauer 28".
14.	12 30	—	46	16	—	—	—	Am Ende der Injection Blutdruckerniedrigung und kleinere Recorderpulse.
15.	13 30	231	88	17.5	8.08	1866.5	11.5	
16.	13 51	225	118	9—8	8.5	1912.5	10.0	Kurzdauernde Erstickung.
17.	14 20	243	87	17	8.86	2081.5	10.9	
18.	19 50	234	92	19	7.85	1836.9	10.1	
19.	19 57	—	—	—	—	—	—	Coffein, 1 ^{cm} . Injectionsdauer 26". Geringe Druckerniedrigung (78 ^{mm}), dann langsame Steigerung.
20.	21 50	240	100	16.7	6.59	1580	9.6	
21.	25 20	243	102	21	6.20	1506.6	8.4	Taf. VIII Fig. 3c.
22.	25 30	—	—	—	—	—	—	Coffein, 5 ^{cm} . Injectionsdauer 50". Druckabnahme (bis 64 ^{mm}), dann Steigerung. Kurz nach der Injection Krampf. Starke Abnahme der Recorderpulse (bis 4.5 ^{mm}). Taf. VIII Fig. 3d.
23.	26 30	246	147/116	36 [46]	—	—	—	Druck sehr wechselnd, Recorderpulse ebenso.
24.	27	252	155/132	38.5	—	—	—	
25.	27 12	228	152/138	Min. bis 46	—	—	—	Erstickung (27' 12" bis 27' 47").
26.	27 50	252	128/114	50 [65]	21.39	5392.8	5.6	Taf. VIII Fig. 3a.
27.	29 50	246	116	30	13.0	3198	10.0	Taf. IX Fig. 3f. Kurz nachher Krampf.
28.	30 11	—	149	16, spät. 42	—	—	—	Druck schnell wechselnd.
29.	31	246	118	37	11.52	2333.9	8.8	Nachher wiederholte Krämpfe mit wechselndem Druck; dann eine Periode d. Erstickung.

Versuch III. (Fortsetzung.)

Nr. der Observat.	Zeit nach Anfang des Versuches in Minuten	Pulsfrequ. in 1 Min.	Blutdruck in Millim. Hg	Recorderpulse				Bemerkungen
				Maximale Pulse, Millimeter	Mittelzahl v. 10 (20) Pulshöhen Millimeter	Mittlere Puls- grösse x Puls- frequenz	Abstand der „diastol. Linie“ v. d. Abscisse	
a	b	c	d	e	f	g	h	i
30.	37'	243	108	25 [47]	12.26	2979.2	3.2	
31.	37 39"	—	—	—	—	—	—	Coffein, 10 ^{cem} . Injectionsdauer 87". Druck nachher 74 ^{mm} . Kleine Recorderpulse.
32.	39 45	245	130/114	45	15.4	3868.0	1.2	Taf. IX Fig. 3 g.
33.	48	243	106	46 [63]	—	—	—	
34.	43 20	—	—	—	—	—	—	Künstl. Athmung unterbro- chen. Fig. 2* [S. 268]. Spont- ane Athmung bis Obs. 41.
35.	44	231	117	54	47.88	11064.9	5.5	Regelmässige schöne Recorder- pulse; spont. Athm. Fig. 2 b.
36.	45	234	114	62	53.61	11944.7	9.5	Nachher plötzliche Abnahme der Recorderpulse, gleichzeitig mit Drucksteigerung, 136 ^{mm} .
37.	45 40	228	120	37	34.6	7883.8	9.1	Dann wieder plötzliche Zunahme der Recorderpulse.
38.	47	222	117	47	28.0	6621.6	3.5	Fig. 2 c.
39.	47 30	—	—	19	—	—	—	Blutdruck nicht mehr registriert (Coagulat.). Recorderpulse neh- men plötzlich ab, wachsen dann wieder rasch an.
40.	51	—	—	57	31.7	—	13.2	Regelm., grosse Recorderpulse.
41.	52 28	—	—	60	—	—	—	Einleitung der künstl. Ath- mung. Recorderpulse nehmen ab.
42.	54 30	—	—	31	—	—	—	
43.	54 50	—	—	—	—	—	—	
44.	55 10	—	—	65	—	—	—	Cyankalium (0.5 Proc.) 1 ^{cem} . Einige grosse Pulse; dann sehr schnelle Abnahme; unregelmäss. Herzaction.
45.	55 42	—	—	2 1/2	—	—	—	Ende der Injection.

Das Herz schwillt enorm an, macht kleine, langsame, unregelmässige Bewegungen, wird weder von 1^{cem} Coffein, noch von Erstickung beein-
flusst. Ende des Versuches 62' nach dem Anfang desselben.

Versuch IV. 18. Februar 1901. Leporid, 2420 g. Der Recorder
zeichnete Anfangs nur kleine Pulse, denjenigen einer Blutdruckcurve sehr
ähnlich (Taf. IX Fig. 4 a); 0.5 und später 1^{cem} Coffein steigerten den

Druck von 48 bis 70 mm Hg, die Pulsfrequenz variierte zwischen 222, 210, 216 bis 228 Schlägen in 1 Minute, die einzelnen kleinen Pulsationen des Recorders wurden nach den Coffeininjectionen grösser; die maximalen Pulse nahmen von 2 und 1.6 mm bis zu 3.5 [4] mm zu. (Taf. IX Fig. 4 b.) Die „diastolische Linie“ war um 18.5 bzw. 19.5 mm von der Abscisse entfernt. Im Mittel betrugen die einzelnen Pulse vor der Injection 0.82 mm, nach derselben 2.2 mm; das Product von mittlerer Pulsgrösse und Pulsfrequenz — die „Minuten-Pulsgrösse“ — stieg dabei von 182.0 zu 460.6. — 10 Minuten nach dem Anfang des Versuches wurde die künstliche Athmung während 20'' unterbrochen, wobei der Typus der Recorderpulse sich schnell änderte und ihr Umfang bedeutend zunahm. Der weitere Verlauf geht aus folgender Tabelle hervor.

Nr. der Observat.	Zeit nach Anfang des Versuches in Minuten	Pulsfrequ. in 1 Min.	Blutdruck in Millim. Hg	Recorderpulse				Bemerkungen
				Maximale Pulse, Millimeter	Mittelzahl v. 10 (20) Pulshöhen Millimeter	Mittlere Pulsgrösse x Pulsfrequenz	Abstand der „diastol. Linie“ v. d. Abscisse	
a	b	c	d	e	f	g	h	i
1.	11'	162	96	23	—	—	—	Effect der Erstickung.
2.	12	240	91	24	13.14	3144	19.2	Taf. IX Fig. 4c. Pulszahl und Druck nehmen allmählich zu.
3.	20 20''	264	98	31	11.52	3041.3	20.1	Coffein, Gabe unbestimmt, ein Theil der Lös. ging verloren.
4.	20 50	—	—	—	—	—	—	
5.	21 30	252	68	21	14.0	3528	20.3	Taf. IX Fig. 4d.
6.	25	265	100	24	10.4	2736	15.8	Coffein, 3 ^{cm} ; Injectionsdauer 23''.
7.	26 12	—	—	—	—	—	—	
8.	27 20	276	104	26	10.97	3027.7	19.2	Aufhören der künstl. Athm. währ. nahe 6 Min.; das Thier athmet spontan, Fig. 4e. Injection von 5 ^{cm} Coffein steigerte zufällig die Pulszahl, brachte den Druck etwas herunter, hatte auf die Recorderpulse keinen deutl. Einfluss. Herzarbeit zuletzt immer schlechter. (Erstickung.)
9.	28	276	104	26	13.12	3615.6	19.1	
10.	28 52	—	—	—	—	—	—	
11.	29	183	109	25	20.25	3702.9	17.5	Künstliche Athmung.
12.	34 40	267	105	27	—	—	—	
13.	39 40	258	105	24	9.48	2445.8	20.1	Coffein, 5 ^{cm} ; Injectionsd. 31''
14.	40 7	—	—	—	—	—	—	
15.	40 30	261	92	22	—	—	—	

(Min. 83)

Nr. der Observat.	Zeit nach Anfang des Versuches in Minuten	Pulsfrequ. in 1 Min.	Blutdruck in Millim. Hg	Recorderpulse				Bemerkungen
				Maximale Pulse, Millimeter	Mittelzahl v. 10 (20) Pulshöhen Millimeter	Mittlere Puls- grösse \times Puls- frequenz	Abstand der „diastol. Linie“ v. der Abscisse	
a	b	c	d	e	f	g	h	i
16.	41'	267	104	24	11.04	2947.7	21.6	
17.	42	258	106	23	—	—	—	
18.	45	264	104	22	10.82	2856.5	18.5	
19.	45 3"	—	—	—	—	—	—	Coffein, 10 ^{cem} . Injectionsd. 37".
20.	45 40	270	86 (Min. 74)	20	—	—	—	
21.	46 30	270	109	21	10.6	2862.0	22.5	
22.	49	258	104	22	10.24	2644.0	20.4	
23.	50 7	—	—	—	—	—	—	Erstickung während 41".
24.	50 10	132	117	—	—	—	—	Während der Erstickung.
25.	51 30	258	103	26 [32.8]	—	—	—	
26.	56 30	252	102	26	9.6	2283.1	18.8	
27.	57 6	—	—	—	—	—	—	Cyankalium (0.5 Proc.), 0.5 ^{cem} ; Injectionsdauer 30".
28.	57 50	108	137 (155/118)	20 [29]	—	—	—	Recorderpulse unregelm., immer kleiner. Das Herz schwillt stark an.
29.	59	—	—	—	—	—	—	Das Herz fängt wieder an, sich zu erholen.
30.	59 40	138	133	—	—	—	—	Kleine Recorderpulse.
31.	61 20	165	124	20	—	—	—	
32.	63 10	198	134	22	—	—	—	
33.	63 36	—	—	—	—	—	—	Cyankalium, 1 ^{cem} .

Die Recordercurve zeigt eine bedeutende Anschwellung des Herzens; bald treten nur einzelne deutliche Pulse hervor (Fig. 3 A S. 270). Unterbrechung und Wiederbeginn der künstlichen Athmung haben auf den Verlauf der Recordercurve nur einen ganz unbedeutenden Einfluss.

Versuch V. 20. Februar 1901. Kaninchen. 1960 g. Bedeutende Blutung beim Öffnen des Brustkastens. Pulszahl und Blutdruck sind daher anfangs niedrig (Puls 132, 114, 120, 132, Druck 35, 26, 30 mm) und die Recorderpulse klein (im Mittel 1.46, 1.78, 1.67 mm. Taf. IX Fig. 5 a). Entfernung der „diastolischen Linie“ von der Abscisse 18.3 bis 19.8 mm. Zwei kleine Coffeininjectionen (0.5 und 1.0^{cem}) haben kaum einen bemerkbaren Einfluss. Eine kurzdauernde Erstickung 9 Minuten nach dem Anfang des Versuches erweckt gleichsam die Empfindlichkeit der Organe (Druck momentan 82 mm) und dann hebt sich allmählich die Circu-

lation, so dass sie zuletzt unter dem Einflusse der Coffeineinspritzungen sich ziemlich normal gestaltet, wie aus folgender Tabelle hervorgeht.

Nr. der Observat.	Zeit nach Anfang des Versuches in Minuten	Pulsfrequ. in 1 Min.	Blutdruck in Millim. Hg	Recorderpulse				Bemerkungen
				Maximale Pulse, Millimeter	Mittelzahl v. 10 (20) Pulshöhen Millimeter	Mittlere Puls- grösse \times Puls- frequenz	Abstand der „diastol. Linie“ v. der Abscisse	
a	b	c	d	e	f	g	h	i
1.	10' 40"	162	50	4.1	3.33	539.5	22.3	Taf. IX Fig. 5b.
2.	12 20	162	51	4.1	3.02	489.2	23.0	
3.	12 35	—	—	—	—	—	—	Coffein, 2 ^{ccm} . Injectionsd. 12.
4.	13	162	57	4.9	2.89	468.2	23.5	
5.	15 30	162	61	4.1	3.35	542.7	23.5	
6.	16 5	—	—	—	—	—	—	Coffein, 3 ^{ccm} . Injectionsdauer 31".
7.	17 30	186	71	5.0	3.75	697.5	24.8	
8.	21	174	73	6.0	4.13	713.4	26.0	
9.	21 32	—	—	—	—	—	—	Coffein, 5 ^{ccm} . Injectionsd. 25". sofort Druckerniedrigung.
10.	23 10	180	78	6.5	4.56	930.8	26.5	
11.	24	186	78	7.0	—	—	—	
12.	26	180	76	7.5	—	—	—	Taf. IX Fig. 5c.
13.	31 20	180	76	7.0	5.14	925.2	24.0	
14.	32 7	—	—	—	—	—	—	Coffein, 10 ^{ccm} . Injectionsd. 53". Druckerniedr. (vgl. Obs. 15).
15.	32 50	210	62	5.1	—	—	—	
16.	35 30	180	89	7.0	5.12	921.6	23	
17.	37	180	86	6.8	5.35	963.0	22.5	
18.	39	—	—	—	—	—	—	Krämpfe; Recorderpulse momen- tan niedriger.
19.	40	186	86	7.6	5.0	930.0	18.5	
20.	41	90	Max. 127	13 [30]	—	—	—	Erstickung, 30". Pulszahl, Druck u. Recorderausschl. wechselnd
21.	42	186	82	8.4	6.61	1229.5	19.0	Taf. IX Fig. 5d.
22.	43	180	85	7.7	5.76	1086.8	18.0	
23.	43 27	—	—	—	—	—	—	Coffein, 10 ^{ccm} . Injectionsdauer 48".
24.	44	228	58	5.0	—	—	—	Während der Injection.
25.	45	192	91	4.6	4.01	769.9	20.0	Kurz nachher Krämpfe u. Druck- steigerung, 131 ^{mm} . Recorder- pulse dabei vorübergehend mi- nimale.

Versuch V. (Fortsetzung.)

Nr. der Observat.	Zeit nach Anfang des Versuches in Minuten	Pulsfrequ. in 1 Min.	Blutdruck in Millim. Hg	Recorderpulse				Bemerkungen
				Maximale Pulse, Millimeter	Mittelzahl v. 10 (20) Pulshöhen Millimeter	Mittlere Puls- grösse \times Puls- frequenz	Abstand der „diastol. Linie“ v. d. Abscisse	
a	b	c	d	e	f	g	h	i
26.	46' 50"	162	96	5.7	4.82	780.8	19.0	
27.	50	174	92	6.3	5.11	889.1	15.5	
28.	54 40	180	89	5.5	2.94	529.2	17.5	
29.	54 49	—	—	—	—	—	—	Strophantin (1 pro mill.), 0.5 ^{cem.} Injectionsdauer 16".
30.	55 28	—	Max. 124	—	—	—	—	
31.	56 50	204	95	5.0	—	—	—	Krämpfe. Recorderpulse etwas kleiner.
32.	58 50	216	89	6.0	—	—	—	
33.	59 17	—	—	—	—	—	—	Strophantin, 1 ^{cem.} Injections- dauer 23".
34.	59 40	216	88—70	5[17]	—	—	—	

Dann folgen Krämpfe, der Puls ist nicht mehr zählbar, der Druck sinkt rasch. Herzstillstand. Die künstliche Athmung macht nachher an der Recordercurve kleine Wellen (0.5 bis 1.5^{mm}), die beim Aufhören der Einblasungen verschwinden. Hebung, Biegung und sonstige Bewegungen der Pericardialcavitäe ändern die Sache nicht.

Versuch VI. 29. Mai 1901. Kaninchen, 1310^g. Beide Vagi frei präpariert und mit Fäden umschlungen. Am Ende des Versuches wurde eine halbprocentige Lösung von Helleborein eingespritzt.

Nr. der Observat.	Zeit nach Anfang des Versuches in Minuten	Pulsfrequ. in 1 Min.	Blutdruck in Millim. Hg	Recorderpulse				Bemerkungen
				Maximale Pulse Millimeter	Mittelzahl v. 10 (20) Pulshöhen Millimeter	Mittlere Puls- grösse \times Puls- frequenz	Abstand der „diastol. Linie“ v. der Abscisse	
a	b	c	d	e	f	g	h	i
1.	0	78	20	—	—	—	—	Taf. IX Fig. 6a.
2.	1' 30"	87	18	13.7	6.57	571.6	22	
3.	1 50 bis 2' 30"	—	—	—	—	—	—	Beide Vagi am Halse durchschn.; keine unmittelbar eintretende Veränderung.
4.	3	108	19	12.8	5.97	644.8	25	

Versuch VI. (Fortsetzung.)

Nr. der Observat.	Zeit nach Anfang des Versuches in Minuten	Pulsfrequ. in 1 Min.	Blutdruck in Millim. Hg	Recorderpulse				Bemerkungen
				Maximale Pulse, Millimeter	Mittelzahl v. 10 (20) Pulsehöhen Millimeter	Mittlere Puls- grösse \times Puls- frequenz	Abstand der „diastol. Linie“ v. der Abscisse	
a	b	c	d	e	f	g	h	i
5.	3' 45"	—	—	—	—	—	—	Coffein, 0.5 ^{ccm} . Injectionsd. 22.
6.	4	135	26	—	—	—	—	Recorderp. momentan sehr klein und unregelmässig.
7.	5	153	36	18.0	9.35	1430.5	20	Die Recorderp. wachsen rasch.
8.	7	165	42	22.0	11.89	1963.5	21	Taf. IX Fig. 6b.
9.	7 4	—	—	—	—	—	—	Coffein, 1 ^{ccm} , während 28" in- jicirt.
10.	8	180	54	22.5	11.66	2098.8	22	Regelmässig, wellenförmig wech- selnde Recorderpulse.
11.	10	177	62	22.9	11.56	2046.1	23	
12.	12	177	65	22.1	12.75	2256.8	23	Taf. IX Fig. 6c.
13.	12 15	—	—	—	—	—	—	Coffein, 2 ^{ccm} , währ. 20" eingespr.
14.	12 30	183	57	—	—	—	—	Druckerniedrigung.
15.	13	189	70	20.1	10.25	1937.3	24	
16.	14	186	77	21.4	10.51	1954.9	24	
17.	17 30	192	80	20.6	9.17	1760.6	24	
18.	17 42	—	—	—	—	—	—	Coffein, 5 ^{ccm} , während 48" injic.
19.	18	189	64	7—10	—	—	—	Druckerniedrigung; kleinere Re- corderpulse.
20.	19	187	82	20.8	9.51	1778.4	24	
21.	21	195	88	18.0	—	—	—	
22.	22	192	90	18.0	8.85	1699.2	25	
23.	22 39	—	—	—	—	—	—	Coffein, 10 ^{ccm} . Injectionsd. 73
24.	23 30	222	56	10.0	—	—	24	
25.	25	204	104	13.8	6.75	1377.0	24	
26.	26 50	204	111	11.1	—	—	23	
27.	28	198	108	12.0	7.25	1435.5	24	
28.	29	—	—	—	—	—	—	Helleborein, 3 ^{ccm} , während 22 eingespritzt.
29.	29 35	240	160	12.3	6.44	1543.6	18	
30.	30 30	192?	104	19.0	—	—	5	
31.	31	—	60	11.1	—	—	0—1	Die Herzthätigkeit und der Blut- druck sinken rasch zum Mini- mum. Das Herz zieht sich stark zusammen. Der Recorder schreibt zuletzt kleine „respiratorische“ Wellen, die bei Unterbrechung der künstlichen Athmung auf- hören (Fig. 3 C S. 270).

Was lehren nun die hier mitgetheilten Versuche?

Im Anfange des Versuches I wurde einige Male physiologische Kochsalzlösung eingespritzt. Durch einen nicht näher zu erklärenden Zufall — oder durch den Einfluss der Zeit an sich — wird dabei, von einer zufälligen Steigerung der Pulsvolumina (Observat. 7 bis 9, Col. *e* und *f*) abgesehen, die vorher recht gute Herzthätigkeit abgeschwächt, was ja nicht als Folge der verhältnissmässig kleinen Kochsalzinjectionen aufgefasst werden kann, da bekanntlich viel grössere Eingiessungen solcher Lösung die Pulsfrequenz und den Blutdruck kaum beeinflussen (Dastre und Loye,¹ Johansson und Tigerstedt).² Bei schweren anämischen Zuständen (nach grossen Blutverlusten), sowie auch bis zu gewissem Grade bei Gefässparalysen und bei Herzschwäche anderer Art können ja bekanntlich Kochsalzinfusionen wenigstens momentan den Kreislauf heben — zuweilen sogar lebenserretend wirken. Ich führe hier den Anfang des Versuches I nur darum an, weil derselbe in einem gewissen Gegensatze zu dem folgenden Theile des Versuches steht, der nicht ganz ohne Interesse ist.

Eine ganz andere Wirkung haben nämlich nachher dieselben Flüssigkeitsmengen, mit dem Coffeinpräparate darin gelöst: sofort gehen Pulsfrequenz und Blutdruck bedeutend in die Höhe, und nachdem diese sich wieder etwas gemässigt haben, nehmen auch die „Pulsvolumina“ nicht unbeträchtlich zu. Diese Parallele ist recht lehrreich. Wenn auch die Coffeininjectionen, da sie in anderen Versuchen einem schlecht arbeitenden Circulationsapparate beigebracht wurden und die Functionen desselben erhoben, nicht nur durch das Coffein, sondern wahrscheinlich auch durch die Flüssigkeit an sich vortheilhaft wirkten, ist es doch wohl ausser Zweifel, dass der Effect zum Theil — vielleicht zum grossen Theil — durch das Coffein selbst bedingt wurde. Vor Allem ist es wohl sicher, dass das Coffein in nicht zu grossen Gaben einer solchen Hebung der Circulation nicht entgegen wirkt, eher dieselbe begünstigt. In welcher Art das Coffein dabei wirkt, werde ich später zu beleuchten versuchen.

Um eine Uebersicht der Resultate meiner Versuche zu erleichtern, folgt auf nächster Seite eine tabellarische Zusammenstellung von den höchsten Werthen vor und nach der Vergiftung, welche die Pulsfrequenz, der Blutdruck, die (mittleren) Recorderpulse und die „Minutenpulsgrössen“ aufwiesen, wozu noch Angaben über die verabreichten Giftdosen und über das Verhalten der „diastolischen Linie“ beigelegt werden.

¹ Dastre und Loye, *Archiv. de physiol.* 1888. Bd. II. S. 93 bis 114.

² Johansson und Tigerstedt, *dies. Archiv.* 1889. Bd. I. S. 352 u. fig.

der Digitalinreihe zuletzt eine Steigerung der Irritabilität des motorischen Apparates des Herzens so stark hervor, dass die Hemmungswirkung überwunden wird und die Pulszahl in oft bedeutendem Grade ansteigt. Es scheint mir in dieser Richtung keine grundwesentliche Verschiedenheit, eher eine Verschiebung der Wirkungen in Bezug auf Stärke und Dauer vorzukommen, ungefähr so wie zwischen Curarin und Strychnin, die ja ein so wesentlich verschiedenes Vergiftungsbild hervorrufen und doch ihrem Wesen nach einander so nahe stehen.

Was die Volumina der einzelnen Pulse betrifft, werden sie bekanntlich durch kleine und mässige Gaben der Digitalingifte fast immer in charakteristischer Art vergrössert, während die Wirkung des Coffeins auf Säugethierherzen in dieser Richtung umstritten ist und wahrscheinlich sich je nach den vorliegenden mechanischen Bedingungen verschieden gestalten kann. Hier muss aber bemerkt werden, dass der Einfluss der Digitalingifte auf die Pulsvolumina zu ihrer Wirkung auf die Frequenz und auf den Hemmungsapparat in sehr naher Beziehung steht. Die dabei meistens vorkommende Verlangsamung der Pulsfrequenz giebt dem Herzen Zeit, grosse, schön ausgebildete Pulse auszuführen, während dieses dem gejagten Coffeinherzen oft nicht möglich ist, wenn auch, wie ich glaube, diesem Gifte eine gewisse Neigung zur Vergrösserung der Pulse nicht ganz fremd ist. Wie Cushny (a. a. O.) schön dargelegt hat, liegt eben in der Vagusreizung der Digitalingifte ein Moment, das zu einer Vergrösserung der Pulse — und zwar in diastolischer Richtung — führt. Ich habe aus Cushny's Arbeit einige Curven benutzt (Taf. IX Fig. 7 *a*, *b*, *c* und *d*), die diese interessante Sache sehr deutlich demonstrieren. Die Curven stammen von Hundeherzen her und sind mit dem „Myocardiograph“ von Roy und Adami ausgeführt worden. Die obere Curve rührt von dem rechten Ventrikel her, die untere giebt den Blutdruck (in Carotis) an; die Zeit in Sekunden ist unten (schwach) angegeben. Die systolischen Spitzen der Curven sind nach unten, die diastolischen nach oben gerichtet. Die Curven *a* und *b* geben die Bewegungen des Herzens vor und nach der Zufuhr von Strophantin an; wir sehen, wie die Strophantinpulse die normalen sowohl in diastolischer als in systolischer Richtung bedeutend überragen. In einem anderen Versuche wurde das Thier zuerst mit Atropin vergiftet und nachher während der Aufzeichnung der Herzbewegungen Strophantin injicirt. Wir sehen (Taf. IX Fig. 7 *c* und *d*), dass die Strophantinpulse (*d*) gleiche Frequenz wie die normalen (*c*) aufweisen — die Vaguswirkung ist eliminirt — und dass jene nur in systolischer, nicht aber in diastolischer Richtung diese überragen. Die stärkere diastolische Dehnung des nur mit Strophantin

vergifteten Herzens (Taf. IX Fig. 7 b) stellt also wahrscheinlich keine directe Wirkung dieses Giftes dar; sie war eine secundäre, eine Folge der Vagusreizung. Nur der systolische Zuwachs der Pulse hing direct von dem Strophantin ab; derselbe trat auch an dem schnell arbeitenden Herzen des atropinvergifteten Thieres hervor.¹

Die bekannte, von den Digitalingiften bedingte Steigerung der „Elasticität“ des Herzens scheint also, bei Säugethieren wenigstens, nicht in einer grösseren Dehnbarkeit, in ausgiebigeren Diastolen hervorzutreten; diese hängen, wie eben erwähnt, von der gleichzeitigen Hemmungsreizung ab. Diese beiden Einflüsse streiten, wie Cushny betont, um das Herz: jene begünstigen die systolische, diese die diastolische Neigung des Herzens. Sehr deutlich tritt dieser Streit zwischen contrahirenden und erschlaffenden Einflüssen in den Versuchen von Neufeld und Hedbom² über den Antagonismus von Antiarin und Blausäure an Froschherzen hervor: die Blausäure kann den Antiarinstillstand aufheben und vice versa. Die Blausäure wirkt hier in derselben Richtung wie eine Vagusreizung der vom Antiarin bedingten systolischen Tendenz des Herzens entgegen; in einem Versuche hat Hedbom sogar durch Vagusreizung einen durch Ipoohgift hervorgerufenen Herzstillstand zufällig aufgehoben. Diese erschlaffenden Einflüsse — die Blausäurevergiftung oder die Vagusreizung — haben auf das durch ein Digitalingift eben in Systole still stehende Herz denselben Effect wie die mechanische Dehnung in dem bekannten Versuche Schmiedeberg's. Wenn man diese Thatfachen und die daraus hervorgehende Auffassung berücksichtigt, scheint mir der principielle

¹ Obgleich es ausserhalb meiner jetzigen Aufgabe liegt, kann ich nicht unterlassen, hier zu bemerken, dass das eben referirte Resultat Cushny's mir eine nicht unwesentlich veränderte Auffassung der Digitalinwirkung gegeben hat. Man hat früher bei der Vaguswirkung dieser Gruppe nur an die Herabsetzung der Pulsfrequenz gedacht und diesen Giften ein selbständiges, mit ihrer Herzmuskelwirkung zusammenhängendes Vermögen zugeschrieben, die diastolische Ausdehnung zu vergrössern. Dies scheint nach Cushny nicht richtig zu sein. Durch seine Angabe gewinnt die Vagusreizung an Bedeutung: sie giebt dem Herzen mehr Zeit, grosse Contractionen auszuführen, und sie vergrössert an sich schon diese Contractionen in diastolischer Richtung. Sie ist gewiss für die Entstehung der therapeutisch so werthvollen Digitalinwirkung eine unerlässliche Bedingung. Die contractionsbefördernde Herzmuskelwirkung der Digitalingifte ist natürlich auch nothwendig. Auf eine richtige Anpassung der Stärke dieser beiden Wirkungen beruht der Werth eines Präparates aus der Digitalinreihe.

² K. Hedbom, *Arch. f. exper. Path. u. Pharm.* 1901. Bd. XLV. S. 317 bis 345, besonders S. 329 u. fig.; der Ipoohgiftversuch S. 341.

Frage möchte ich hier nur andeuten, dass, wenn man (wie ich) zu der Ansicht neigt, dass normaler Weise die Ganglien des Herzens den automatisch wirkenden Ausgangspunkt der Bewegungsimpulse dieses Organs darstellen, diese Gebilde gewissermaassen einem nervösen Centralorgan — wenn auch niederer Ordnung — gleich zu stellen wäre; und unter solchen Umständen liesse es sich wohl annehmen, dass das Coffein dieses intracardiale Centralorgan eben so gut wie mehrere Centren des verlängerten Markes und des Gehirnes reizen (bezw. ihre Reizbarkeit erhöhen) könnte.

Was den Vergleich zwischen der Digitalis- und der Coffeinwirkung auf das Herz betrifft, sehen die Verff. den Unterschied derselben nur in Verschiedenheiten in Bezug auf Art und Localisation der Muskelwirkung an. Wie ich in meinem Aufsatz oben aus einander zu setzen versucht habe, scheint es mir nothwendig, auch die verschiedene Wirkung der beiden Gifte auf den Hemmungsapparat zu betonen.

Wenn ich also auch in ein paar Punkten zu einer anderen Auffassung als die Verff. neige, möchte ich andererseits zum Schluss hervorheben, dass mir die Versuche von Cushny und van Naten in methodischer Hinsicht sehr befriedigend zu sein scheinen, wodurch ihre Untersuchung entschieden einen Fortschritt vor derjenigen früherer Forscher, auch vor der meinigen, bezeichnet. Eine wie weitgehende Analyse der Herzthätigkeit ihre Methode ermöglicht, scheint mir aus den interessanten Versuchen der Verff. über die Beziehung der Coffeinwirkung zur Acceleransreizung und zur Reizung der Vorhöfe an den Eintrittsstellen der grossen Venen hervorzugehen. — Leider ist bei uns die Schwierigkeit, ein genügend reichliches Material geeigneter Versuchsthiere zu bekommen, ein ernstes Hinderniss gegen die Anwendung der von ihnen benutzten besseren Methode gewesen.

Stockholm, im October 1901.

Erklärung der Abbildungen.

Abschnitte der Piston-Recordercurven.

(Taf. VIII u. IX.)

Taf. VIII.

Fig. 1a [Vers. I, Obs. 1 und 2]. Recorderpulse vor allen Injectionen.

Fig. 1b [„ I, „ 5]. Nach Injection v. 1^{cem} NaCl-Lösung (0.9 Proc.).

Fig. 1c [„ I, „ 9]. Nach einer 2. Einspritzung von NaCl-Lösung, 5^{cem}.

Fig. 1d [„ I, „ 12]. Vor der 1. Coffeinjection.

Fig. 1e [„ I, „ 14]. Während der 1. Coffeinjection.

- Fig. 1 *f* [Vers. I, Obs. 16]. Effect der 1. Injection (1^{cem}).
 Fig. 1 *g* [„ I, „ 18]. Resultat einer 2. Einspritzung (3^{cem}).
 Fig. 1 *h* [„ I, „ 24]. Nach einer 4. Coffeïnjection (10^{cem}).
 Fig. 1 *i* [„ I, „ 26]. Fortschreitende Verbesserung der Herzaction nach der 4. Coffeïnjection.
 Fig. 2 *a* [Vers. II, Obs. 1]. Recorderpulse vor den Injectionen.
 Fig. 2 *b* [„ II, „ 3]. Kurz vor der 1. Coffeïnjection.
 Fig. 2 *c* [„ II, „ 6]. 2 Minuten nach der 1. Einspritzung.
 Fig. 2 *d* [„ II, „ 10]. Nach einer 2. Injection.
 Fig. 2 *e* [„ II, „ 14]. Herzaction nach kurzdauernder Erstickung.
 Fig. 2 *f* [„ II, „ 30]. Kurz vor der 6. Injection.
 Fig. 2 *g* [„ II, „ 32 und 33]. Während der 6. Einspritzung.
 Fig. 2 *h* [„ II, „ 37]. Folge dieser Coffeïnjection (5^{cem}).
 Fig. 2 *i* [„ II, „ 42]. Eintritt des Herzstillstandes kurz nach einer Injection von Strophantin (1 pro mille, 1^{cem}).
 Fig. 3 *a* [Vers. III, Obs. 2]. Recorderpulse vor den Coffeïneinspritzungen.
 Fig. 3 *b* [„ III, „ 9]. Pulse nach der 2. Injection (1^{cem}).
 Fig. 3 *c* [„ III, „ 21]. Kurz vor der 5. Einspritzung.
 Fig. 3 *d* [„ III, „ 22]. Ende der 5. Injection. Vorübergehende Herabsetzung der Recorderpulse mit Anschwellung des Herzens; dann grosse Pulse.
 Fig. 3 *e* [Vers. III, Obs. 26]. Enorme Pulse kurz nach einer Erstickung.

Taf. IX.

Fig. 3 *f* [Vers. III, Obs. 27]. Grosse, regelmässige, weniger stürmische Pulse.

Fig. 3 *g* [„ III, „ 32]. Nach einer Injection von 10^{cem} Coffeïnlösung; wieder sehr grosse Pulse.

Fig. 4 *a* und *b* [Vers. IV, Anfang]. *a* vor den Injectionen; *b* nach zwei Einzelgaben von Coffeïn (0.5 und 1^{cem}).

Fig. 4 *c* [Vers. IV, Obs. 2]. Nach einer kurzen Periode der Erstickung; bedeutend vergrösserte Pulse.

Fig. 4 *d* [Vers. IV, Obs. 5]. Kurz nach der 3. Coffeïneinspritzung.

Fig. 4 *e* [„ IV, „ 10]. Nach der 4. Injection. Spontane Athmung.

Fig. 5 *a* [„ V, Anfang]. Recorderpulse vor den Injectionen.

Fig. 5 *b* [„ V, Obs. 1]. Nach 2 kleinen Coffeïnjectionen und nach einer kurzdauernden Erstickung.

Fig. 5 *c* [Vers. V, Obs. 12]. Nach der 5. Einspritzung.

Fig. 5 *d* [„ V, „ 21]. Später, nach einer Gabe von 10^{cem} Coffeïn, sowie nach einer kurzen Erstickungsperiode.

Fig. 6 *a* [Vers. VI, Obs. 1]. Recorderpulse vor den Injectionen.

Fig. 6 *b* [„ VI, „ 8]. Vagi übergeschnitten; 0.5^{cem} Coffeïnlösung injicirt. Die Pulse bedeutend frequenter und grösser.

Fig. 6 *c* [Vers. VI, Obs. 12]. Nach der 2. Coffeïnjection. Recorderpulse in regelmässigen Gruppen.

Fig. 7 *a*, *b*, *c*, *d* nach Cushny, s. oben S. 292. Die Bilder sind um $\frac{1}{4}$ reducirt.

Ueber die respiratorische Pause nach tiefen Inspirationen.¹

Von

Gustav Neander.

(Aus dem physiologischen Laboratorium in Upsala.)

(Hierzu Taf. X.)

Einleitung.

Zu den interessantesten Erscheinungen auf dem Gebiete der Respiurationslehre ist unbestritten die Apnoe zu zählen, welche auch wiederholt Gegenstand der Beobachtung und Untersuchung für verschiedene Forscher gewesen ist.

Das Wort Apnoe ist von Alters her bekannt und in der physiologischen Litteratur angewandt worden. Bereits Galenus benutzte es, obgleich in einer Bedeutung, welche von der gegenwärtigen abweicht, z. B. in *De locis affectis* (Lib. IV Vol. VIII S. 281, herausgegeben von E. Kühn), wo gesagt wird: „Es giebt noch ein anderes Leiden der Respiration, Apnoea genannt, wenn dem Augenscheine nach keine stattfindet, während dies der Natur der Sache nach unglaublich ist.“² Die moderne Bedeutung des Wortes Apnoe wurde im Jahre 1862 von Rosenthal in seiner grundlegenden Arbeit gegeben: „Die Athembewegungen und ihre Beziehungen zum Nervus vagus (1)“³ und dürfte so auszudrücken sein, dass Apnoe der Zustand ist, in welchem ein lebendes Thier sich befindet, bei dem die Respiurationsbewegungen für längere oder kürzere Zeit zu

¹ Der Redaction am 27. Juli 1901 zugegangen.

² Cit. von Rosenthal in Hermann's *Handbuch* IV. S. 264.

³ Die Ziffern in der Klammer deuten auf das Litteraturverzeichnis hin.

Zeit zu Folge Inactivität des respiratorischen Centrums aufgehoben sind.

Rosenthal fasste das Apnoe-Phänomen als einen ganz offenbaren Beweis für seine Theorie auf, betreffend die Abhängigkeit der Respirationsbewegungen von dem Sauerstoffgehalt des Blutes. Sobald das Blut durch die energischere Lungenventilation reichlicher mit Sauerstoff versehen worden war, fiel — nach Rosenthal — das für das Respirationscentrum specifisch reizende Moment, der Sauerstoffmangel, für einige Zeit weg, und während dieser Zeit mussten natürlich die Respirationsbewegungen eingestellt sein.

Zahlreiche Untersuchungen von anderen Forschern haben indess dargethan, dass das Apnoe-Phänomen von weit complicirter Natur ist, als Rosenthal Anfangs annahm, und es als wahrscheinlich hingestellt, dass auch andere Momente als die Blutgase zu dessen Entstehen mitwirken.

Schon früh wurde die Aufmerksamkeit auf die Bedeutung gelenkt, welche man vielleicht den Nn. vagi bei der Entstehung der Apnoe zuerkennen muss. Es zeigte sich nämlich, dass, so lange diese Nerven intact waren, der Athmungsstillstand durch Einblasen von Gas-mischungen, welche verhältnissmässig arm an Sauerstoff waren, hervorgerufen werden konnte, während andererseits, nachdem die Nn. vagi eliminirt waren, auch eine äusserst kräftige Lungenventilation ungenügend war, um eine bemerkbare Apnoe hervorzurufen. So z. B. gelang es Thiry (2) im Jahre 1865, bei Thieren durch Einblasen einer Gasmischung, welche aus gleichen Theilen Luft und Wasserstoffgas bestand, Apnoe zu etabliren.

Dass die Integrität der Nn. vagi eine sehr grosse Bedeutung für die Möglichkeit hatte, bei Thieren durch Lufteinblasen Apnoe hervorzurufen, wurde durch zahlreiche Experimente dargethan. Diese Bedeutung wurde sogar eine Zeit lang für so gross gehalten, dass Brown-Séguard (6) im Jahre 1871 sich zum Vertreter der Auffassung machen konnte, dass die Anwesenheit der Nn. vagi in unbeschädigtem Zustande eine ganz unerlässliche Bedingung für die Entstehung der Apnoe ist, und dass das Lufteinblasen nicht durch reicheres Versetzen des Blutes mit Sauerstoff, sondern als Reflexhemmung durch mechanische Reizung, Dehnung der pulmonalen Vagusfäden Apnoe verursachen konnte.

Diese Frage ist später Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen, kann aber nicht als ganz erledigt betrachtet werden. Dem Brown-Séguard'schen Extrem gegenüber, dass die Nn. vagi unvermeidliche Bedingungen für die Entstehung der Apnoe sein sollten,

steht Rosenthal's (14) Behauptung, dass er keine grössere Schwierigkeit gefunden habe bei Thieren, deren Vagi geschnitten waren, Apnoe hervorzurufen als bei solchen, bei denen diese Nerven intact waren.

Die Untersuchungen, welche von Filehne (8), Knoll (17), Rosenbach (9) und Gad (15) gemacht worden sind, scheinen dafür zu sprechen, dass die Wahrheit mitten zwischen den beiden genannten Extremen liegt. Die Erfahrung, über welche die meisten Forscher einig sind, dürfte also die sein, dass man bei einem Thier, dessen Vagi eliminirt worden sind, Apnoe hervorrufen kann, aber mit grösserer Schwierigkeit, und dass die Apnoe dabei von kürzerer Dauer als bei einem Versuchsthier ist, bei welchem diese Nerven sich in unbeschädigtem Zustande befinden.

Indess sind auch von verschiedenen anderen Gesichtspunkten aus gegen Rosenthal's chemische Theorie von der Entstehung der Apnoe Einwendungen gemacht worden. So z. B. glaubte P. Hering (4) (im Jahre 1867) constatirt zu haben, dass das arterielle Blut während der Apnoe nicht reicher an Sauerstoff ist als unter normalen Verhältnissen, sondern im Gegentheil etwas ärmer, und zog Grund dessen die Richtigkeit der Rosenthal'schen Auffassung in Zweifel. P. Hering's soeben angeführte Erfahrung ist darauf indess von keinem Forscher bestätigt worden. Seine Untersuchung wurde (1868) von Pflüger (5) kritisirt, welcher in Hering's Arbeitsmethode eine Fehlerquelle nachwies, und im Jahre 1873 veröffentlichte August Ewald (7) eine Untersuchung über den Sauerstoffgehalt bei dem arteriellen Blute, welche Untersuchung unter Pflüger's Leitung ausgeführt wurde. Aus dieser ging hervor, dass das arterielle Blut während der Apnoe constant, wenn auch nur unbedeutend (0.1 bis 0.9 Proc.) reicher an Sauerstoff ist als unter gewöhnlichen Verhältnissen.

Ausgehend von den Untersuchungen über die Sauerstofftension im Arterienblute, welche E. Herter (12) (1879) veröffentlichte, wendet sich (auch 1879) Hoppe-Seyler (11) gegen die Rosenthal'sche Auffassung von der Ursache der Apnoe. Da das Arterienblut nach diesen Untersuchungen unter normalen Verhältnissen vollständig von Sauerstoff gesättigt ist, dürfte — nach Hoppe-Seyler — nicht einmal die kräftigste und energischste Lungenventilation dem Arterienblute eine so grosse Vermehrung des Sauerstoffgehaltes zuführen können, wie erforderlich wäre, wenn dieser Sauerstoffzuschuss die einzige oder wesentliche Ursache des Eintrittes der Apnoe sein sollte. Als Ursache der Apnoe nimmt Hoppe-Seyler anstatt dessen die Ermüdung an, oder sogar die Misshandlung des Respirationsapparates, welcher notwendiger Weise durch die forcirte künstliche Respiration verursacht wird.

Dieser Hoppe-Seyler'schen Annahme gegenüber führt Filehne (13) die Ziffern an, welche Hüfner (10) durch spektrophotometrische Bestimmung des Hämoglobin- und Sauerstoffgehaltes im Blute erhalten hat. Nach diesen Untersuchungen ist das Arterienblut beim Hunde unter normalen Verhältnissen nicht völlig mit Sauerstoff gesättigt, sondern enthält stets reducirtes Hämoglobin, weshalb also wenigstens die Möglichkeit einer vermehrten Sauerstoffbindung im Blute durch forcirte Respiration vorhanden ist.

Um den Einfluss der Ermüdung zu eliminiren, welcher von Hoppe-Seyler als äusserst kräftig angenommen worden ist, suchte Bieletsky (16) bei einem Raubvogel (*Astur palumbarius*) Apnoe hervorzurufen, indem er einen constanten Luftstrom durch die Lungen blies, nachdem er zuvor die Humeri abgebrochen und so die mit den Lungen communicirenden Luftsäcke geöffnet hatte. Er erhielt in diesem Falle bei dem Versuchsthiere mit Leichtigkeit Apnoe, obgleich die Respirationsbewegungen so ausgeschlossen waren.

Unter den übrigen, welche wichtige Einwendungen gegen Rosenthal's Theorie gemacht haben, seien Marckwald (20) und Mosso (21) genannt. Der erstere betont, dass die Athmung lange fortfahren kann, auch nachdem die Blutcirculation um das respiratorische Centrum abgesperrt worden ist, und behauptet, dass weder die Respiration, noch die Apnoe mit den Gasen des Blutes etwas zu schaffen habe. Der Letztere deutet darauf hin, dass grosse Variationen im Respirationsrhythmus vorkommen, welche nicht als Anpassungen nach Variationen im Sauerstoffbedarf des Organismus aufgefasst werden können und schliesst daraus, dass die Regulirung der Respiration unabhängig von der chemischen Beschaffenheit des Blutes ist.

Aus der Kritik, welcher die chemische Theorie der Entstehung der Apnoe ausgesetzt gewesen ist, wie aus den verschiedenen Erklärungsversuchen, welche gemacht worden sind, ging indess die Möglichkeit hervor, dass man mit mehreren Arten von Apnoe zu zählen habe, welche von mehreren ungleichartigen Ursachsmomenten hervorgerufen seien.

Dies wird auch von Miescher-Rüsch (18) in seiner orientirenden Arbeit erwähnt: Bemerkungen zur Lehre von den Athembewegungen (1885). Diejenige Art der Apnoe, welche dadurch entsteht, dass das Blut in Folge der Beschaffenheit seiner Gase keine Reizung auf das respiratorische Centrum ausübt, nennt er *Apnoea vera*, und unter dem Namen *Apnoea spuria* fasst er die Zustände in der Respiration zusammen, welche durch reflectorische, von den Nn. vagi oder von anderen Nerven ausgegangene Hemmung bewirkt werden.

Diese Distinction verdient es wohl, scharf betont zu werden. Der Begriff *Apnoea spuria* dürfte indess meiner Ansicht nach dahin zu erweitern sein, dass er alle anderen Formen von Apnoe, also gerade diejenigen umfasst, welche von ausgebliebener Reizung des Centralapparates zu Folge Beschaffenheit der Blutgase bedingt sind. Wenn es sich z. B. zeigen sollte, dass die durch sehr forcirte Athmung natürlich hervorgerufene Ermüdung des Respirationscentrums im Stande ist, einen apnoeähnlichen Athmungszustand zu verursachen, muss auch dies natürlich als eine *Apnoea spuria*, wenn auch von anderer Art, betrachtet werden.

Die Mehrzahl der Versuche, zum näheren Studium dieses Zustandes Apnoe hervorzurufen, ist an Thieren, meist Kaninchen, durch energische künstliche Respiration gemacht worden. Es ist indessen eine längst bekannte Thatsache, dass Apnoeversuche ohne Schwierigkeit auch am Menschen vorgenommen werden können. Wenn man eine grössere oder geringere Zahl tiefer und kräftiger Respirationen macht, ist sehr leicht zu beobachten, dass diejenigen gewöhnlichen Bewegungen des Brustkastens unmittelbar darnach für einige Secunden eingestellt sind. Rosenthal (14) erwähnt diese Thatsache mit folgenden Worten: „Wenn ich nur eine einzige tiefe Inspiration mache, wird die darauf folgende Athempause auf das Drei- bis Sechsfache ihrer normalen Dauer verlängert. Wenn ich einige solcher tiefen Athemzüge hinter einander mache, erhalte ich eine Apnoe von 5 bis 10 Secunden Dauer und darüber.“ Dieselbe Sache wird von Fredericq (24) erwähnt, welcher sagt: „On peut faire sur l'homme une expérience analogue. Si l'on exécute une série d'inspirations très profondes, on n'éprouve plus, pendant plusieurs secondes, le besoin de respirer: on est à l'état d'apnée.“

Und wirklich hat man im täglichen Leben nicht selten Gelegenheit, die erwähnte Thatsache zu beobachten. Wenn man auf Jemand Acht giebt, welcher gähnt oder tief seufzt, so ist leicht zu bemerken, dass ein kurzer Athmungsstillstand unmittelbar nach diesen Formen von tieferer Respiration folgt.

Nähere Untersuchungen über diese der Lufteinblasungsapnoe bei Thieren analoge Respirationspause scheinen bisher indess nicht gemacht worden zu sein. Eine solche Untersuchung dürfte indessen mancherlei von Interesse bieten, weil es scheinen will, als ob man dadurch Gelegenheit erhielte, der Frage hinsichtlich der Ursachen der Entstehung der Apnoe von etwas anderen Ausgangspunkten als den gewöhnlichen etwas näher zu kommen.

Ueber eine Reihe Untersuchungen in dieser Richtung will ich im

Folgenden berichten. Bei Vorlegung dieser Arbeit, welche in dem physiologischen Institut zu Upsala ausgeführt wurde, ist es mir eine angenehme Pflicht, dem Präfecten dieses Institutes, Herrn Professor Hj. Oehrwall, für das Wohlwollen und Interesse, womit er den Gang der Arbeit verfolgt hat, wie für die zahlreichen und werthvollen Rathschläge und Auskünfte, womit er dieselbe erleichtert hat, meinen wärmsten Dank auszusprechen.

I. Versuchsanordnung.

Sämmtliche Versuche, betreffend die Länge der Athmungspause nach tiefen Respirationen, habe ich an mir selbst ausgeführt.

Ich placirte einen Marey'schen Pneumographen auf die blosse Brust mitten über dem Sternum in gleicher Höhe mit den Brustwarzen und fixirte denselben dort sicher, doch nur so hart, dass er die Athembewegungen nicht im mindesten hinderte. Die Bewegungen des Brustkorbes wurden auf einen berussten Cylinder gezeichnet, welcher auf einem Baltzar'schen Kymographion rotirte. Zugleich wurde die Zeit mittels einer Secundenuhr registriert.

So viel als möglich suchte ich die grösste Gleichförmigkeit in der Anordnung bei den verschiedenen Versuchen zu behalten. So z. B. wurde der Stuhl, auf welchem ich während des Versuches sass, stets in derselben Weise im Verhältniss zum Tisch, der Pneumograph immer in derselben Weise auf die Brust placirt u. s. w.

Bei der Arbeit mit Gasmischungen von anderer Zusammensetzung als der der atmosphärischen Luft wurden diese in einem Spirometer¹ eingeschlossen. Ein weiter Kautschukschlauch, welcher vom Spirometer führte, endigte mit einem Loven'schen Ventil, durch welches die Gasmischung vom Spirometer inspirirt wurde, nachdem die Nasenöffnungen mit einem Klemmer verschlossen worden waren.

Das Sauerstoffgas, welches zur Darstellung der Gasmischungen erforderlich ist, wurde theils fabrikmässig dargestellt und comprimirt auf einem eisernen Cylinder (von Elkan's Sauerstofffabrik, Tegeler Strasse 15,

¹ Hierbei wurde ein Holmgren'scher Doppelspirometer verwandt (siehe *Upsala Läkareförenings förhandlingar*. 1873. Bd. VIII. S. 465), auf welchem beide Glocken so mit einander verbunden wurden, dass der Apparat im Ganzen wie ein einfacher Spirometer wirkte. So wurde ein Gasvolumen erhalten, welches zu 15 bis 16 tiefen Respirationen hinreichte. Bei den Versuchen mit 25 und 40 tiefen Athemzügen wurde mit dem Spirometer eine Gasglocke verbunden, von welcher der Spirometer während des Versuches von einem Assistenten successive gefüllt wurde.

Berlin), theils auch mittels Zertheilung des Wassers durch einen elektrischen Strom erhalten, in welchem Falle es durch starke Erhitzung in einem kupfernen Rohr, durch welches das Gas geleitet wurde,¹ von Ozon befreit wurde.

Als Reagens auf Ozon wurde Schönbein's Jodkaliumstärkepapier (17 J.K. + 10 Stärke + 200 Wasser)² verwandt.

Das benutzte Wasserstoffgas wurde durch Zertheilung von Wasser mittels des elektrischen Stromes dargestellt.

Die Versuche wurden in folgender Weise ausgeführt: Ich setzte mich auf einen Stuhl vor den Tisch, auf welchen die Registrirungsapparate placirt waren, und fixirte den Pneumographen in angegebener Weise auf der Brust, stellte die Schreibfedern ein und versetzte dann den Cylinder in Rotation. Nachdem ich eine Weile in gewöhnlicher Weise gleichmässig und ruhig geathmet hatte, machte ich die für jedes Mal bestimmte Anzahl tiefer Inspirationen und verhielt mich dann den Respirationsbewegungen gegenüber so passiv wie möglich.

Die Schwierigkeit bei diesen Versuchen bestand natürlich darin, in möglichster Weise den Einfluß des Willens auf die Länge der Pause zu eliminiren. Zu diesem Zwecke machte ich vor den eigentlichen Versuchen eine grosse Anzahl Uebungsversuche, durch welche ich mich allmählich gewöhnte, mich während des Versuches völlig passiv zu verhalten. Damit nichts hinzukommen sollte, was diese erworbene Gewohnheit stören konnte, suchte ich, wie bereits ausgeführt, eine detaillirte Gleichförmigkeit bei den verschiedenen Versuchen zu behalten. Dadurch, dass ich ausserdem während des Versuches selbst in einem Buch oder in einer Zeitung las, die Augen schloss und den Gedanken eine ganz andere Richtung gab, und besonders dadurch, dass ich sorgfältig vermied, während des Versuches das Resultat zu beobachten, welches auf den berussten Cylinder gezeichnet wurde, lernte ich es allmählich, die Versuche vollkommen mechanisch auszuführen, ohne dem Verlaufe irgend welche Aufmerksamkeit zu widmen. Uebrigens wurden alle Versuche, bei welchen ich selbst nicht ganz passiv gewesen zu sein vermeinte, ausser Rechnung gelassen.

¹ Das Ozon wurde entfernt, weil es für möglich gehalten wurde, dass dasselbe die Ursache zu der reizenden Wirkung auf die Schleimhaut des Larynx und Pharynx bilden könnte, welche auf diese Weise erhaltener Sauerstoff bisweilen zu besitzen sich erwies. Es dürfte zu bemerken sein, dass der Sauerstoff, erhalten durch Zertheilung von schwefelsäureurem Wasser, stets einen positiven Ausschlag auf das Reagenzpapier gab, während das Gas, welches durch Zertheilung von alkalischem Wasser erhalten wurde, einen negativen oder sehr schwachen Ausschlag gab.

² W. Hempel, *Gasanalytische Methoden*. S. 145. Braunschweig 1900.

II. Die respiratorische Pause nach tiefen Inspirationen.

Eine nähere Untersuchung der Resultate, welche durch die eben beschriebene Versuchsanordnung erhalten wurden, giebt an die Hand, dass schon nach einem einzigen tiefen Athemzug constant eine Pause in der Expirationsstellung erhalten wird.

Als Durchschnittsziffer von einer Anzahl Versuchen habe ich gefunden, dass die Länge dieses Stillstandes bei mir etwa 4 Secunden, d. h. ungefähr die Zeit beträgt, welche eine normale In- und Expiration zusammen umfassen.

Fig. 1 Taf. X giebt das Aussehen der Curven wieder, welche bei diesen Versuchen auf den berussten Cylinder gezeichnet worden sind (die Curve ist von links nach rechts zu lesen, die abwärts gehenden Linien bezeichnen die Inspiration, die aufwärts gehenden die Expiration; die Zeit ist in Secunden markirt. Die kleinen Wellen in der Curve entsprechen den Herzschlägen).

Aus dieser Curve geht hervor, dass, sobald der Brustkorb die Expirationsbewegung nach der tiefen Inspiration vollendet hat, ein einige Secunden langer völliger Stillstand in der Expirationsstellung eintritt; nach Ablauf dieses Stillstandes beginnt die Athmung mit einer ziemlich unbedeutenden Inspiration. Bei der nächsten Respiration ist die Amplitude des Ausschlages etwas grösser, aber erst bei der dritten oder vierten Respiration nach der Pause wird dieselbe Amplitude erreicht, welche die normalen Athmungsbewegungen unmittelbar vor der tiefen Inspiration zeigten. Danach setzt die Respiration unter völlig normaler Form fort.

Im Vorhergehenden ist angedeutet worden, dass Rosenthal (15) die Länge der erwähnten Pause in einem gewissen Zusammenhange mit der Anzahl der vorhergehenden tiefen Athemzüge stehend befunden hat und zwar so, dass der Stillstand länger wurde, wenn er „einige“ tiefe Inspirationen machte, als wenn er nur „einen einzigen“ that. Es scheint der Mühe zu verlohnen, die Art und Ausdehnung dieses Zusammenhanges näher zu untersuchen.

Zu diesem Zwecke habe ich durch eine Reihe Versuche die Länge der Athmungspause nach der verschiedenen Anzahl der vorhergehenden tiefen Athemzüge, von 1 bis einschliesslich 60, bestimmt. Die Figg. 2 und 3 Taf. X werden als Beispiel der Curven mitgetheilt, welche bei diesen Versuchen erhalten wurden.

Die hierdurch gewonnenen Resultate legen dar, dass die Länge der respiratorischen Pause bis zu einer gewissen Grenze mit der steigenden Anzahl der vorhergehenden tiefen Respirationen wächst.

Die Werthe der Pausenlänge (Mittelwerth von ungefähr 10 Versuchen für jede Anzahl tiefer Inspirationen), welche ich erhielt, waren folgende:

Anzahl tiefer Respirationen	Pausenlänge Sec.	Anzahl tiefer Respirationen	Pausenlänge Sec.
1	4	12	9
2	5.8	14	9.1
3	6.2	17	10.2
4	7	20	11.1
5	7.3	25	12.4
6	7.3	30	15.5
8	7.6	40	15.5
10	8	60	15.5

Geographisch dargestellt geben diese Resultate eine Curve von folgendem Aussehen:

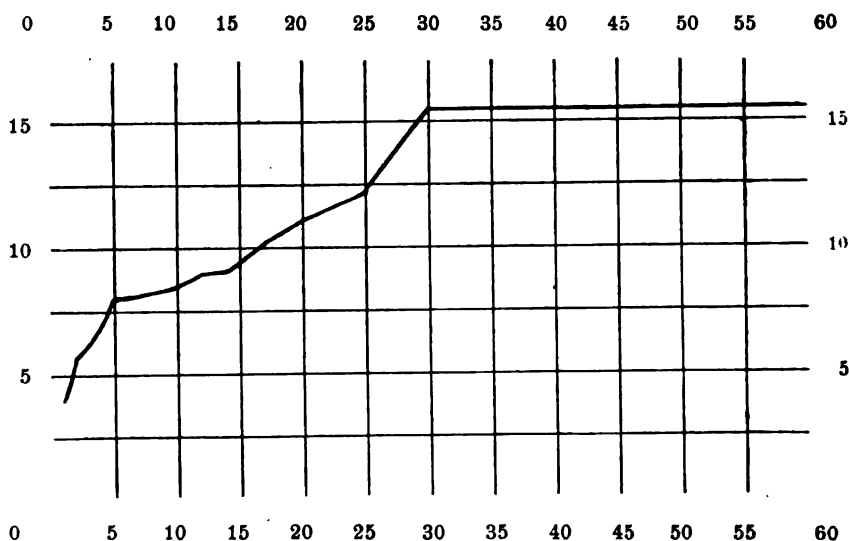


Fig. 4. Zunahme der Pause nach der wachsenden Anzahl tiefer Inspirationen.

Abscisse: Anzahl der tiefen Respirationen. Ordinate: Zeit (in Sec.).

Nach etwa 30 Secunden hatte die Pause also eine Länge von ungefähr 15 Secunden erreicht; darauf schien sie nicht mehr zuzunehmen, sondern hatte deutlich ihr Maximum erreicht. Die Zunahme schien Anfangs am stärksten zu sein, so dass die Pause schon nach 5 tiefen

Respirationen eine Länge von 7·3 Sec. hatte. Dann erfolgt das Steigen langsamer, aber ziemlich gleichmässig bis zu ungefähr 25 Respirationen, wo ein steilerer Anstieg beginnt, welcher bis 30 reicht, wo die Curve ein Plateau bildet.

Es ist natürlich, dass sowohl die Länge dieser Pause nach der ungleichen Anzahl tiefer Athemzüge, wie auch der Punkt, bei welchem dieselbe ihr Maximum erreicht, wie anzunehmen, nicht unbedeutenden individuellen Schwankungen ausgesetzt sein muss, was auch aus verschiedenen Controlversuchen mit anderen Personen hervorgegangen ist. Indess haben diese Controlversuche stets die oben erwähnte Behauptung bestätigt, dass auf einen oder mehrere tiefe Athemzüge stets eine expiratorische Pause folgt, welche ihrer Länge nach innerhalb gewisser Grenzen von der Zahl der vorhergehenden tiefen Respirationen abhängig ist.

Es liegt nun nahe an der Hand, dass man sich fragt: ist diese Pause, welche natürlich ebenso gut wie der durch energische künstliche Athmung bei Thieren erzeugte Athmungsstillstand eine Apnoe ist, richtiger als eine *Apnoea vera* oder *Apnoea spuria*, oder vielleicht als eine Combination von beiden aufzufassen? Welche Momente können als mitwirkende Ursachen zur Entstehung dieser Pause nachgewiesen werden? Ist die Ursache nur darin zu suchen, dass das Blut durch die eingehendere Lungenventilation reichlicher mit Sauerstoff versehen oder von Kohlensäure befreit worden ist, so dass das für das respiratorische Centrum reizende Moment für eine Weile weggefallen ist, oder nur in einer durch Reflex hervorgerufenen Hemmung? Wirken möglicher Weise diese beiden oder noch andere Ursachen zusammen, und in letzterem Falle, welches sind diese anderen mitwirkenden Ursachen?

Der Zweck der nachfolgenden Untersuchungen ist der, zu versuchen, zur Beantwortung dieser Fragen einen Beitrag zu liefern.

Von besonderem Interesse für die Beantwortung dieser Fragen war es natürlich, zu untersuchen, ob die Länge der beschriebenen Pause in irgend welcher Weise von der Zusammensetzung der Luft abhängig wäre, mit welcher die Lungen durch die tiefen Athemzüge gefüllt werden. Dass ein grösserer oder geringerer Sauerstoffgehalt bei der inspirirten Luft eine bestimmte Bedeutung haben würde, erschien a priori sehr wahrscheinlich.

Ich bereitete daher Anfangs eine verhältnissmässig sauerstoffreiche Luftmischung, welche im Spirometer eingeschlossen gehalten wurde. Ich mischte 10 Liter gewöhnliche Luft mit 2 Liter reinem Sauerstoffgas, wonach die Mischung ungefähr 34 Proc. Sauerstoff enthielt. In

derselben Weise, wie oben beschrieben, führte ich nun eine Reihe Apnoeversuche aus, nur mit dem Unterschiede, dass ich bei den tiefen Athemzügen oben erwähnte sauerstoffreiche Luft inspirirte.

Das Gasvolumen, worüber ich disponirte, erlaubte mir nicht, eine grössere Anzahl tiefer Respirationen zu machen als 40, die indess völlig hinreichten, da die Länge der Pause offenbar schon vorher ihr Maximum erreicht hatte.

Ich erhielt bei diesen Versuchen folgende Werthe für die Länge der Pause nach verschiedener Anzahl vorhergehender kräftiger Inspirationen in der sauerstoffreicheren Luft. Zum Vergleiche theile ich auch die bei Versuchen in gewöhnlicher atmosphärischer Luft erhaltenen Werthe mit, wie auch die Differenz zwischen den Werthen in den beiden verschiedenen Versuchsreihen:

Anzahl der tiefen Re- spirationen	Länge der Pause nach		Differenz
	Athmung in ge- wöhl. Luft (21 Proc. O) Sec.	Athmung in sauerstoffreicher Luft (84 Proc. O) Sec.	
1	4	6	2
2	5.8	7	1.2
3	6.2	8	1.8
4	7	10	3
5	7.3	13	5.7
6	7.3	13	5.7
8	7.6	13.5	5.9
10	8	14	6
12	9	14	5
14	9.1	14	4.9
17	10.2	14.5	4.3
25	12.4	15	2.6
40	15.5	15.5	0

Die Curve, welche durch graphische Darstellung dieser Ziffernwerthe erhalten wurde, wird in Fig. 5 (S. 311 oberste Curve) wiedergegeben. Ein Vergleich zwischen dieser neuen Curve und der vorher bei Versuchen in gewöhnlicher atmosphärischer Luft erhaltenen (die mittelste Curve in Fig. 5) zeigt, dass schon nach einem einzigen Athemzuge in der sauerstoffreicheren Luft die Athmungspause bedeutend länger geworden ist als bei Athmung in gewöhnlicher Luft. Der Unterschied beträgt ungefähr 2 Secunden. Danach wächst die Pause nach den Inspirationen in der sauerstoffreichen Luft so schnell, dass

dieselbe bereits nach 10 Inspirationen das Maximum erreicht, welches bei Versuchen in gewöhnlicher Luft erst nach ungefähr 30 Inspirationen erhalten wurde. Durch einen ziemlich langsamen Anstieg erreicht die Curve schon bei ungefähr 20 tiefen Inspirationen das Plateau der ersten Curve, welchem sie dann folgt.

Es ist also deutlich, dass erhöhter Sauerstoffgehalt in der inspirirten Luft wesentlich die Schnelligkeit erhöht, mit welcher die Apnoe nach tiefen Respirationen ihr Maximum erreicht. Bemerkenswerth ist indess, dass es scheinen will, als ob dieses Moment keinen wesentlichen Einfluss auf die Grösse des endlichen Maximums der Pause hätte. Ob der Verlauf der Curven übrigens ein Ausdruck für eine allgemeingültige Thatsache, oder nur individuell für mich ist, lässt sich natürlich noch nicht mit Gewissheit entscheiden.

Um diese Untersuchung zu completiren, machte ich dann eine völlig gleichartige Versuchsreihe mit einer Gasmischung, deren Sauerstoffgehalt wesentlich niedriger als der der atmosphärischen Luft war. Ich mischte gewöhnliche Luft und Kohlensäure in solchen Mengen, dass die Mischung ungefähr 10 Proc. Sauerstoff enthielt, d. h. ungefähr die Hälfte des Sauerstoffgehaltes in der äusseren Luft.

Dabei erhielt ich folgende Werthe, welche der grösseren Uebersichtlichkeit wegen mit den bei den beiden vorhergehenden Versuchsreihen erhaltenen Werthen zusammengestellt sind.

Anzahl der tiefen Respirat.	Länge der Pause nach			Differenz 2-1	Differenz 1-3
	1. Athm. in gewöhnlicher Luft (21 Proc. O) Sec.	2. Athm. in sauerstoffreicher Luft (84 Proc. O) Sec.	3. Athm. in sauerstoffarmer Luft (10 Proc. O) Sec.		
				Sec.	Sec.
1	4	6	2	2	2
2	5.8	7	3	1.2	2.8
3	6.2	8	4	1.8	2.2
4	7	10	5	3	2
5	7.3	13	5	5.7	2.3
6	7.3	13	5.5	5.7	1.8
8	7.6	13.5	6	5.9	1.6
10	8	14	6	6	2
12	9	14	6	5	3
14	9.1	14	6.5	4.9	2.6
17	10.2	14.5	7	4.3	3.2
25	12.4	15	8	2.6	4.4
40	15.5	15.5	8	0	7.5

Die unterste Curve auf Fig. 5 giebt in graphischer Darstellung die Veränderungen wieder, welche die Länge der Pause bei diesen Versuchen erlitten hat. Es zeigt sich, dass diese Curve die ganze Zeit unter derjenigen liegt, welche bei den Versuchen in atmosphärischer Luft erhalten wurde, dass sie aber in ziemlich analoger Weise dem Verlauf der letzteren mit einer wenigstens anfänglich einigermassen constanten Differenz von ungefähr 2 Secunden folgt. Bei ungefähr 25 tiefen Inspirationen scheint die Curve ein Plateau zu bilden, welches bedeutend niedriger liegt als das vorige. Die maximale Länge der Pause war nämlich 8 Secunden, aber nicht mehr als ungefähr die Hälfte des höchsten erreichten Werthes bei der vorigen Versuchsreihe.

Die Abnahme des Sauerstoffgehaltes in der Luft, mit welcher die Lungen durch die tiefen Respirationen ventilirt werden, hat also einen ganz deutlichen Einfluss auf die Länge der nachfolgenden Athmungspause, sofern als diese Pause, welche bei tiefer Athmung in sauerstoffarmer Luft ebenso constant wie bei demselben Versuche in gewöhnlicher Luft hervortritt, doch stets im ersteren Falle wesentlich kürzer ist, als bei den sonst gleichartigen Verhältnissen im letzteren Falle.

Der wesentliche Unterschied in der Länge der Pause, welcher erhalten wird, wenn man in derselben Weise athmet, mit tiefen Respirationen das eine Mal in sauerstoffreicher, das andere Mal in gewöhnlicher Luft, und da also alle Umstände bei den Versuchen mit Ausnahme der Sauerstoffzufuhr gleichartig sind, scheint kräftig dafür zu sprechen, dass man wenigstens zum Theil, gewiss zu einem wesentlichen Theil, diese Pause als eine *Apnoea vera*, d. h. als abhängig von dem Einfluss der Blutgase auf das respiratorische Centrum auffassen muss. Dies schliesst indess nicht aus, dass auch andere Momente bezüglich der Entstehung und Länge der Pause eine Rolle spielen können. Weiter hinten will ich darauf zurückkommen.

Als ich mit den oben beschriebenen Versuchen beschäftigt war, lag mir natürlich der Gedanke nahe, zu untersuchen, wie ein Athemstillstand, der durch Einfluss des Willens bewirkt wurde, sich unter ähnlichen Umständen verhielte, oder mit anderen Worten, wie die Fähigkeit, den Athem zu halten, durch die verschiedene Anzahl vorheriger tiefer Respirationen in gewöhnlicher bzw. sauerstoffreicherer und sauerstoffärmerer Luft verändert würde. Wäre die Annahme richtig, dass die beschriebene Athmungspause zum grossen Theil eine *Apnoea vera* sei, so müsste natürlich jedes Moment, welches die Pause steigert, auch die Fähigkeit, den Athem zu halten, steigern. Eine Reihe von Versuchen in dieser Richtung müsste also in gewisser Beziehung eine

Controle für die Zuverlässigkeit der vorhergehenden Versuche abgeben.

Verschiedene Versuche hinsichtlich der Steigerung, die in der

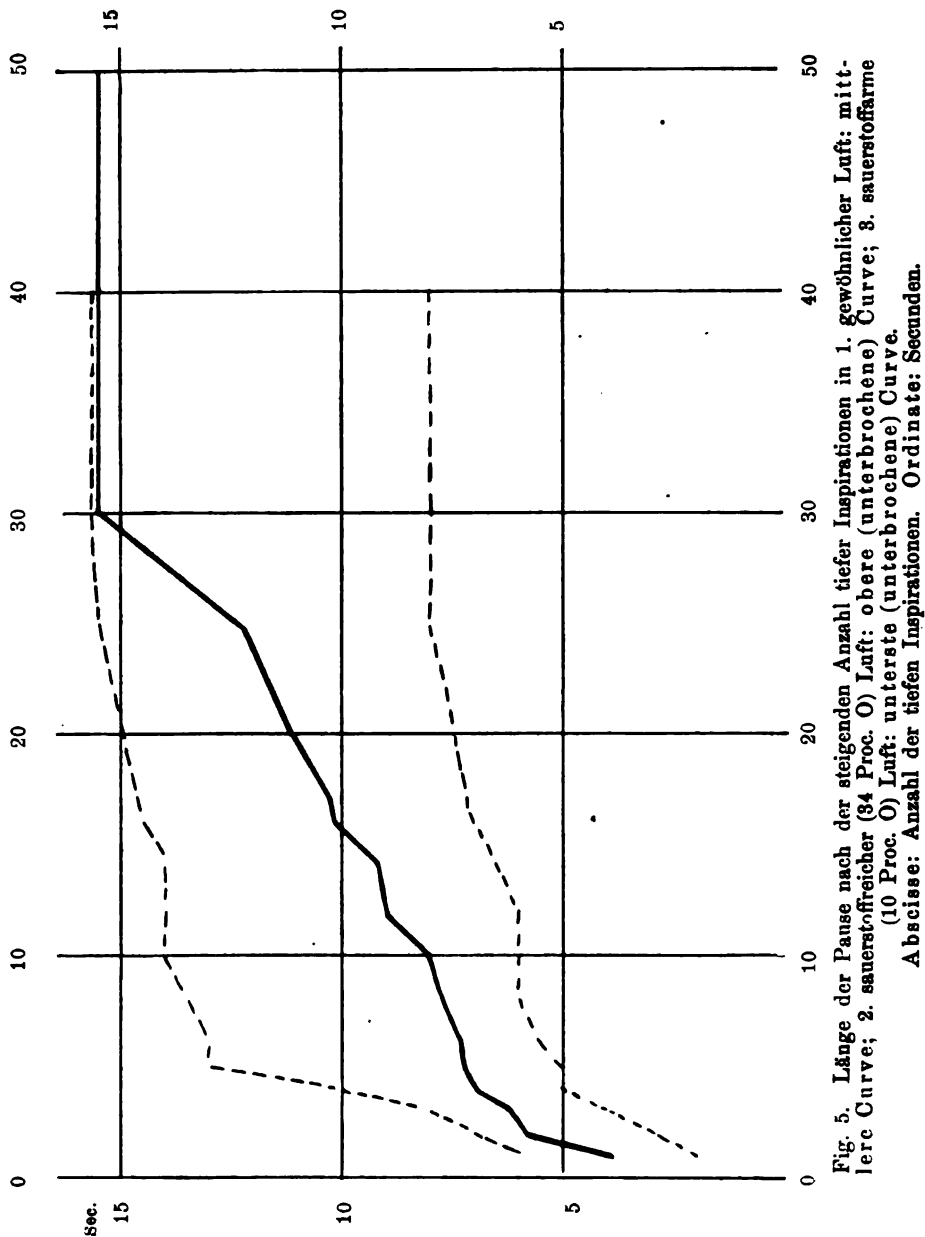


Fig. 5. Länge der Pause nach der steigenden Anzahl tiefer Inspirationen in 1. gewöhnlicher Luft: mittlere Curve; 2. sauerstoffreicher (84 Proc. O) Luft: obere (unterbrochene) Curve; 3. sauerstoffarme (10 Proc. O) Luft: unterste (unterbrochene) Curve.

Abscisse: Anzahl der tiefen Inspirationen. Ordinate: Sekunden.

Fähigkeit, den Athem zu halten, durch eine vorhergehende, mehr oder weniger gründliche Lungenventilation erreicht wird, sind bereits früher gemacht worden. Czermak (3) führt (i. J. 1855) an, dass er nach einer tiefen Inspiration den Athem 30 bis 35 Secunden halten konnte, nach 10 bis 18 kam er hinauf bis zu $1\frac{1}{2}$ Minuten. Filehne (12), welcher (im Jahre 1879) ähnliche Versuche beschrieben hat, konnte nach gewöhnlicher ruhiger Respiration den Athem höchstens 15 Secunden halten, nach 3 bis 4 tiefen Inspirationen 35 Secunden, nach 20 Secunden langer forcirter Athmung hielt er 50 bis 55 Secunden aus, ohne zu athmen; über diese Grenze kam er nicht. Richet (25) berichtet, dass er nach gründlicher Ventilation der Lungen, ohne nennenswerthe Schwierigkeit, bis 2 Minuten 15 Secunden kam; mit äusserster Anstrengung hielt er 15 Sec. länger aus, d. h. bis zu $2\frac{1}{2}$ Minuten, wobei doch die letzten Secunden äusserst peinigend waren.

Eine Angabe des Unterschiedes in der Fähigkeit, den Athem zu halten, welche vorliegt, wenn man von der In- oder Expirationsstellung des Brustkorbes, wie auch der Aenderung derselben Fähigkeit Respiration in Luftarten von verschiedener Zusammensetzung ausgeht, dürfte indess kaum existiren.

Einige Reihen von diesbezüglichen Versuchen habe ich theils an mir selbst, theils an einer Anzahl anderer Personen gemacht. Dabei habe ich beobachtet, dass die tiefen Athemzüge in ruhigem Rhythmus ausgeführt worden sind, dass sie kein Gefühl von Athemnoth hinterlassen haben. Bei einigen von diesen Versuchen bin ich von der Inspirationsstellung ausgegangen, d. h. ich habe begonnen, den Athem zu halten, während die Lungen durch eine kräftige Inspiration mit Luft gefüllt waren, und habe dann die Luft allmählich zwischen den Lippen herausströmen lassen, bei anderen dagegen bin ich von der Expirationsstellung ausgegangen, d. h. ich habe erst begonnen, wenn der Thorax nach der tiefen Inspiration in normale Expiration zurückgekehrt war.

Bei diesen wie bei den Apnoeversuchen wurden die Bewegungen des Brustkorbes auf früher angegebene Weise mit den Pneumographen registriert und die Zeit mit der Secundenuhr aufgezeichnet. Hierdurch konnte ich theils die Zeit genau messen, in der es mir während der verschiedenen Versuche gelang, den Athem zu halten, theils, da jede Bewegung des Brustkorbes aufgezeichnet wurde, auch controliren, dass im Laufe des Versuches keine unbedeutende Inspiration unbewusst gemacht wurde.

Vor Beginn der eigentlichen Versuche bestimmte ich meine

Fähigkeit, den Athem zu halten, nach der gewöhnlichen ruhigen Respiration, und bekam als Resultat folgende Werthe:

in Expirationsstellung:	in Inspirationsstellung:
30 Sec.	45 Sec.

Darnach bestimmte ich, wie diese Fähigkeit sich event. veränderte, wenn ich vor dem Athemhalten eine oder mehrere Respirationen machte.

Untenstehende Tabelle giebt an, wie viele Secunden ich nach mehreren oder weniger tiefen Inspirationen den Athem halten konnte:

Die Anzahl tiefer Respirationen	In Expirationsstellung Sec.	In Inspirationsstellung Sec.
1	43.5	49.5
5	59	65.5
10	68	78.5
15	83	98
20	94.5	110
25	102	115
30	112	120
35	112	121
40	112	122
60	113	123

Wie hieraus mit Deutlichkeit hervorgeht, erzielt man durch eine Anzahl vorhergehender Respirationen eine in wesentlich hohem Grade vermehrte Fähigkeit, den Athem zu halten.

Wie bedeutend dieser Zuschuss in der That ist, dürfte am leichtesten so zu veranschaulichen sein, dass man die bei den vorbereitenden Versuchen nach gewöhnlicher Athmung erhaltenen Werthe der Fähigkeit, in Ex- und Inspirationsstellung den Athem zu halten, bzw. 30 und 45 Secunden, mit den verschiedenen Werthen vergleicht, welche bei den letzteren Versuchen genommen wurden und in Procenten von den primären Werthen (30 und 45 Secunden) die Grösse der Vermehrung berechnet, welche für jeden der verschiedenen Versuche erreicht wurde.

Eine solche Berechnung ist in der nachstehenden Tabelle ausgeführt.

Der Zuschuss beträgt nach:

Anzahl tiefer Respi- rationen	In Expirations- stellung Proc.	In Inspirations- stellung Proc.
1	45	10
5	96.6	49.1
10	126.6	74.4
15	176.6	106.1
20	215	144.4
25	240	155.5
30	273.6	166.6
35	273.6	168.8
40	273.6	171.1
60	273.6	183.3

Ein Blick z. B. auf die Verhältnisse bei den Versuchen in Expirationsstellung zeigt, dass schon nach 5 tiefen Inspirationen die Fähigkeit, den Athem zu halten, fast verdoppelt ist, nach 20 mehr als verdreifacht und nach 30 nahezu vervierfacht ist, dass aber danach keine nennenswerthe Vermehrung erfolgt. Auch in Inspirationsstellung ist die Zunahme nach 30 tiefen Inspirationen so gut wie zu Ende. Besonders bemerkenswerth ist, dass sowohl bei diesen, wie bei den früher genannten Apnoeversuchen die Verbesserung der Resultate bei ungefähr 30 tiefen Inspirationen aufzuhören scheint.

Wenn man die maximalen Werthe, die bei den oben erwähnten früheren Versuchen erhalten wurden, mit den höchsten Werthen vergleicht, die ich erhielt, zeigt es sich, dass meine Ziffer, 123 Secunden, die von Czermak und Filehne als höchste Grenzwerte angeführten Procente bzw. 55 Secunden bei Weitem überschreitet, dagegen Richet's Maximum 150 Secunden nicht erreicht. Hieraus und aus dem, was weiter unten noch erwähnt wird, geht mit Deutlichkeit hervor, dass man hier mit Verhältnissen zu thun hat, die starken individuellen Variationen unterworfen sind.

Bei Versuchen wie den oben angeführten darf man natürlich nicht den grossen Einfluss übersehen, den die Uebung auf die Fähigkeit hat, den Athem zu halten. Dass indessen die grossartige Vermehrung, die in diesen Fällen erreicht wurde, nicht allein oder auch nur hauptsächlich von dem Einflusse der Uebung herrühren kann, dürfte klar sein. Uebrigens habe ich durch die Anordnung der Versuche mich bemüht, den Einfluss der Uebung wenn nicht vollständig zu eliminiren, so doch möglichst zu beschränken. Die Versuche sind mit ziemlich langen Zwischenräumen gemacht, und habe ich mich überdies mit einer möglichst geringen Anzahl Versuche begnügt, so

dass die angeführten Ziffern nicht Mittelwerthe einer Anzahl Versuche sind, sondern das Resultat eines einzigen von jeder Art.

Die nun beschriebenen Versuche wurden nachher in der Weise zu Ende geführt, dass ich zwei gleichartige Versuchsserien machte, die eine unter Anwendung von sauerstoffreicher (34 Proc. O) Luft, die andere mit sauerstoffarmer (10 Proc. O). Die Resultate dieser Versuche waren folgende (die Werthe von der vorhergehenden Versuchsserie werden des Vergleiches wegen wiederholt):

Anzahl tiefer Respirat.	In gewöhnlicher Luft (21 Proc. O)		In sauerstoffr. Luft (34 Proc. O)		In sauerstoffarmer Luft (10 Proc. O)	
	Exsp.-Stell.	Insp.-Stell.	Exsp.-Stell.	Insp.-Stell.	Exsp.-Stell.	Insp.-Stell.
	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.
1	43.5	49.5	46.5	60	30	42
5	59	65.5	62	81.5	39	48
10	68	78.5	83	100	42	55
15	84	93	100	114	45	58
20	94.5	110	—	—	—	—
25	102	115	115	126	49	60
30	112	120	—	—	—	—
35	112	121	—	—	—	—
40	112	122	125	130	51	62
60	118	123	—	—	—	—

Dass der Sauerstoffgehalt in der durch tiefe Athemzüge inspirirten Luft also einen wesentlichen Einfluss auf die Grösse der Zunahme hat, welche die Fähigkeit, den Athem zu halten, durch eine vorübergehende Lungenventilation erhielt, und dass dieser Einfluss analog der Einwirkung ist, welche der Sauerstoffgehalt in der Luft ebenfalls auf die Grösse der Pause ausübte, die den tiefen Respirationen folgte, dürfte durch diese Ziffern klar bewiesen worden sein.

Um den Einfluss des vermehrten oder verminderten Sauerstoffgehaltes deutlicher zu veranschaulichen, theilen wir hier wie bei der vorigen Versuchsreihe eine Berechnung des Verhältnisses von den Zunahmen zu den ursprünglichen Werthen, 30 Secunden in Expirationsstellung und 45 Secunden in Inspirationsstellung, ausgedrückt in Procenten, von den letztgenannten mit (s. Tabelle nächste Seite).

Die Resultate der nun beschriebenen drei Versuchsreihen habe ich auch im Bilde zu veranschaulichen gesucht, zu welchem Zwecke die Curven in Fig. 6 gemacht worden sind. Diese dürften keiner weiteren Erklärung benöthigen. Nach 30 tiefen Inspirationen hört das Steigen der Curven so gut wie ganz auf, doch verbleibt eine kleine

Anzahl tiefer Respirat.	In gewöhnlicher Luft (21 Proc. O)		In sauerstoffr. Luft (34 Proc. O)		In sauerstoffarmer Luft (10 Proc. O)	
	Exp.-Stell.	Insp.-Stell.	Exp.-Stell.	Insp.-Stell.	Exp.-Stell.	Insp.-Stell.
	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.
1	45	10	55	38.8	0	-6.6
5	96.6	49.1	106.6	81.1	30	6.6
10	126.6	74.4	176.6	111.1	40	22.2
15	176.6	106.6	233.3	153.3	50	28.8
25	240	155.5	288.8	180	68.8	33.3
40	273.6	171.1	316.6	188.8	70	37.7

130

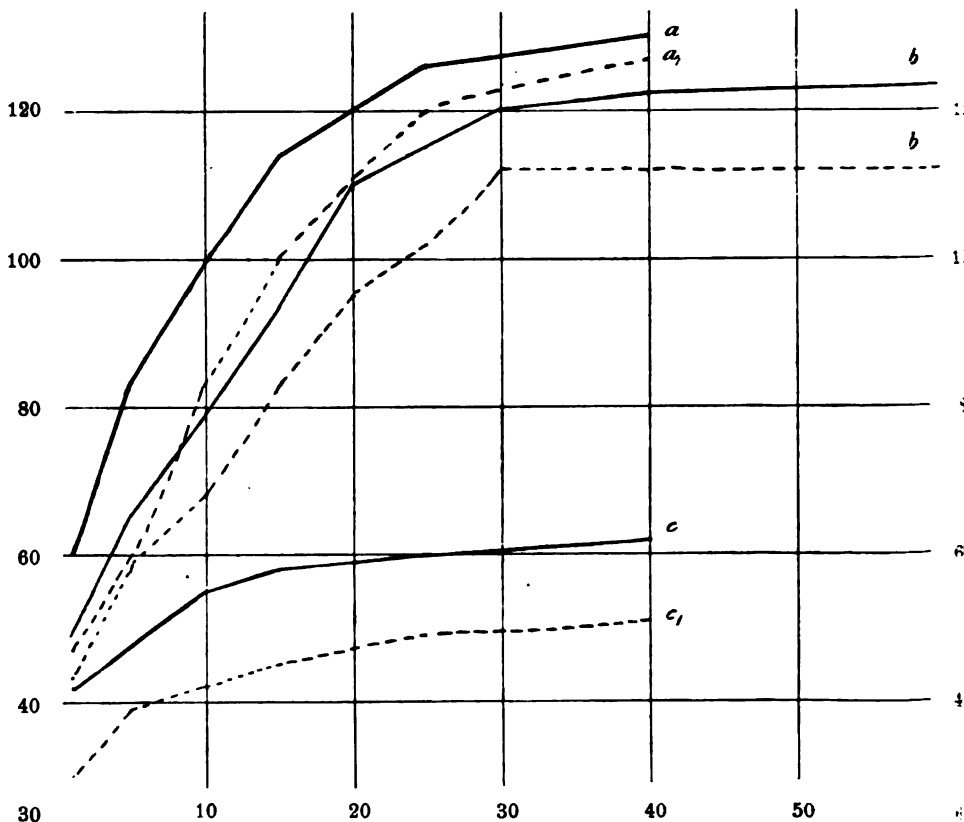


Fig. 6. Fähigkeit, den Athem zu halten, nach tiefer Inspiration. 1. In gewöhnlicher Luft: in Inspirationsstellung Curve *b*; in Expirationsstellung Curve *b*₁; 2. in sauerstoffreicher (34 Proc. O) Luft: in Inspirationsstellung Curve *a*, in Expirationsstellung Curve *a*₁; in sauerstoffarmer (10 Proc. O) Luft: in Inspirationsstellung Curve *c*, in Expirationsstellung Curve *c*₁.
Abscisse: Anzahl tiefer Insp. Ordinate: Zeit in Sekunden.

Tendenz zur Hebung, was indessen von dem Einflusse der Uebung abhängen kann. Bei den Apnoeversuchen dagegen konnte diese sich natürlich nicht geltend machen, sondern die Curve nahm schliesslich ein vollkommen constantes Niveau ein.

Diese Untersuchung hinsichtlich der Fähigkeit, den Athem zu halten, dürfte also mit ziemlicher Sicherheit darlegen, dass die genannte Fähigkeit ganz deutlich zunimmt durch alle Momente, welche geeignet sind, die Sauerstoffaufnahme des Blutes in den Lungen zu erleichtern oder zu vermehren. Die tiefen Inspirationen, welche theils eine bedeutend vergrösserte Respirationsfläche, theils eine für den Gasaustausch vermehrte disponible Luftmenge beschaffen, eine Luftmischung, deren Sauerstoffgehalt wesentlich den der normalen atmosphärischen Luft übersteigt, sind natürlich Ursachen, welche kräftig in eben angeführter Richtung wirken. Ebenfalls muss die Erklärung von dem constant auftretenden Verhältniss, dass man bessere Resultate erzielt, wenn man von der In- als von der Exspirationsstellung ausgeht, in der gesteigerten Fähigkeit, den Sauerstoff der Luft aufzunehmen, welchen das Blut in den Lungencapillaren durch die Zurückhaltung einer grösseren Luftquantität erhält, gesucht werden. Bei einer Versuchsreihe dagegen, wo der Sauerstoffgehalt in der inspirirten Luft bedeutend geringer ist als in der normalen Luft, sinkt diese Fähigkeit in auffallender Weise. Diese Verhältnisse scheinen deutlich dafür zu sprechen, dass wirklich eine grössere Sauerstoffquantität als in gewöhnlichen Fällen im Blute gebunden ist, welches dadurch in Stand gesetzt worden ist, den Sauerstoffbedarf des Körpers für eine längere Zeit zu decken.

Ebenso kräftig wie die früher angeführten Apnoeversuche und in guter Uebereinstimmung mit diesen sprechen also diese Versuche dafür, dass der Athmungsstillstand, der bei den erstgenannten Versuchen eintrat, wenigstens theilweise als eine *Apnoea vera* aufgefasst werden muss.

Es ist leicht einzusehen, dass der Process, welcher stattfindet, wenn man den Athem so lange als möglich zurückhält, von ziemlich complicirter Natur ist. Zu demselben gehört natürlich ein weit über die Grenze der gewöhnlichen Verhältnisse getriebenes Ausnutzen der Sauerstoffanlage in Blut und Geweben, was durch einen rein psychischen Process möglich wird, nämlich durch ein Hemmen oder Unterdrücken der respiratorischen Impulse, welche sich natürlich weit eher einstellen, als der Versuch des Sauerstoffvorrathes eine Erstickungsgefahr mitbringt.

Es dürfte nicht unwahrscheinlich sein, dass der Einfluss der Uebung hier gerade darin liegt, dass die Fähigkeit, die Athmungsimpulse zu

unterdrücken, vermehrt wird. Dass dagegen eine Anzahl tiefer Inspirationen in gewöhnlicher oder sauerstoffreicherer Luft einen Einfluss auf dies Hemmungsvermögen sollte ausüben können, ist wohl nicht wahrscheinlich, sondern die bedeutende Steigerung der Fähigkeit, den Athem zu halten, welche unleugbar die Folge von solchen ist, hat wahrscheinlich ihre Ursache in der durch sie veranlassten Zunahme des Sauerstoffvorrathes im Blute. Je besser ventilirt und mit Sauerstoff versehen die Gewebe sind, desto länger muss es dauern, bis das Centrum zu unwiderstehlichen Respirationsimpulsen gereizt wird. Desto länger aber müssen auch die reflexhemmenden Apparate, welche ebenfalls für ihre Functionen vom Sauerstoffvorrathe abhängig sein müssen, dienstbar sein können. Man kann also meinen, dass die bessere Ventilation, indirect dem Hemmungsprocesse selbst zu Gute kommt.

Neben dem rein theoretischen Interesse für das Verständniss der Entstehung der Apnoepause müsste diese Möglichkeit, die Befähigung, den Athem zu halten, in hohem Grade zu erhöhen, eine wichtige praktische Bedeutung erhalten können. Bei vielen Gelegenheiten, z. B. wenn es gilt, durch Staub oder Rauch (bei Feuersbrünsten u. s. w.) zu gehen, und vor Allem beim Tauchen dürfte dieser Umstand von Nutzen sein können.

Es will scheinen, als ob Taucher im Allgemeinen wenig wüssten von der Bedeutung für die Fähigkeit, den Athem zu halten, die in einer vorhergehenden, mehr oder weniger pünktlichen Lungenventilation liegt, und sich deshalb darauf beschränkten, mit Hülfe der Uebung die Möglichkeit, den Athem zu halten, zu erweitern, welche nach gewöhnlicher ruhiger Athmung oder im besten Falle nach einem oder einigen tiefen Athemzügen sich vorfindet. Es ist indess leicht einzusehen, dass eine Combination von Uebung mit nahezu gründlicher Lungenventilation vor jedem Versuche zu Resultaten führen muss, welche nicht unwesentlich diejenigen übersteigen, die jetzt im Allgemeinen erreicht werden.

Wie bereits vorher angedeutet, sind natürlich die individuellen Variationen auf diesem Gebiete sehr gross. Dass aber dennoch der Zuschuss in der Befähigung, den Athem zu halten, der durch das beschriebene Verfahren gewonnen wird, auffallend gross ist, dürfte aus einer Serie von Versuchen hervorgehen, die 8 Laboranten in dem hiesigen physiologischen Institut ausführten. Diese Versuche wurden in ganz derselben Weise wie die von mir oben beschriebenen angeordnet, obgleich weniger detaillirt ausgeführt.

Folgende Tabelle zeigt, wie viele Secunden die einzelnen Versuchspersonen den Athem halten konnten theils nach gewöhnlicher Athmung.

theils nach 1, 10 und 20 vorhergehenden tiefen Athemzügen, sowohl in In- wie in Expirationsstellung.

Versuchs- personen	Nach gewöhnl. Respiration		Nach 1 tiefen Inspiration		Nach 10 tiefen Inspirationen		Nach 20 tiefen Inspirationen	
	Exp.-St.	Insp.-St.	Exp.-St.	Insp.-St.	Exp.-St.	Insp.-St.	Exp.-St.	Insp.-St.
	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.
1. (E. S.)	22.5	38	56	78	80	106	88	162
2. (K. F. H.)	25	38	42	52	60	75	70	92
3. (A. P.)	27	32	32	37	68	75	68	93
4. (K. H. G.)	28.2	33.9	32.2	66	60	88	104	97
5. (E. W.)	37.3	59.7	77.2	106	80	163	87	163
6. (G. L.)	37.9	72	51.2	72	94	120	121	185
7. (C. S.)	46.2	58.1	59	93	92	143	100	184
8. (C. W.)	71	153	103	141	135	197	158	222

(Hier folgt Fig. 7 S. 190.)

Zur Verdeutlichung dieser Werthe wird hier auch eine Berechnung von der Grösse des Zuschusses, ausgedrückt in Procenten, von den Werthen, welche bei den einleitenden Versuchen, den Athem ohne vorhergehenden tiefen Athemzug zu halten, erhalten wurden.

Nr. der Versuchs- person	Nach 10 tiefen Inspirationen		Nach 20 tiefen Inspirationen	
	Exspirat.-Stell.	Inspirat.-Stell.	Exspirat.-Stell.	Inspirat.-Stell.
	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.
1	255.5	178.9	291.1	326.3
2	120	89.4	180	142.1
3	151.8	134.3	151.8	190.6
4	112.7	165.4	263.2	186.1
5	114.4	173	138.2	173
6	148	66.6	219.2	159.6
7	99.1	146.1	112.2	211.5
8	90.1	60.1	122.5	80.5

Noch anschaulicher dürfte indess die Grösse der Zunahme aus der graphischen Darstellung der Thatsache hervorgehen, wie wir sie in Fig. 7 sehen. Für jede der 8 Versuchspersonen (durch die Ziffern I bis VIII bezeichnet) sind 4 Striche gezogen, von denen zwei die Fähigkeit, nach normaler Athmung („N“) den Athem zu halten, die zwei anderen dieselbe Fähigkeit nach 20 tiefen Inspirationen („20“)

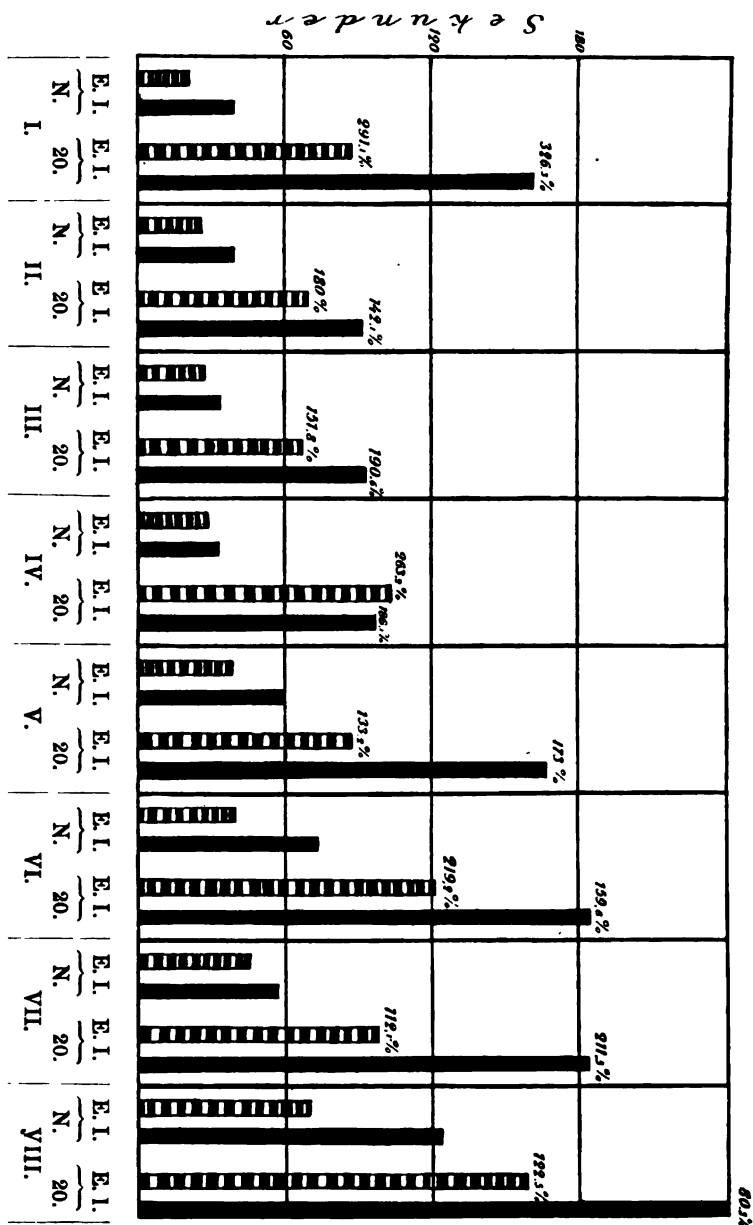


Fig. 7.

repräsentiren. Oberhalb der letzteren ist das Zunahmepercent im Verhältniss zu den ersteren angegeben. Die unterbrochenen Striche be-

zeichnen die Versuche in Expirationsstellung, die ausgefüllten die in Inspirationsstellung.

Eine Prüfung der oben angeführten Ziffern wie auch der Fig. 7 giebt an die Hand, theils dass grosse individuelle Schwankungen sich sowohl hinsichtlich der Fähigkeit geltend machen, den Athem zu halten nach gewöhnlicher normaler Respiration, wie auch in Bezug auf die Grösse der Zunahme, welche durch vorangehende Lungenventilation erhalten wird, theils auch, dass diese Zunahme in der Fähigkeit, den Athem zu halten, welche bei sämtlichen Versuchspersonen erzielt wurde, ausserordentlich bedeutend gewesen ist. Zu bemerken ist, dass die Versuchsperson C. W., welche vorher ein geübter Taucher war, dennoch einen erheblichen Zuschuss erreichte. Nach 10 tiefen Respirationen z. B. hat die Zunahme zwischen etwa 100 Proc. und über 250 Proc. geschwankt, nach 20 kräftigen Athemzügen ist der Zuschuss über 300 Proc. der ursprünglichen Fähigkeit gestiegen.

Dass eine allgemeine Kenntniss dieses Sachverhaltes praktische Bedeutung erhalten könnte, liegt klar am Tage. So viel ich erfahren habe, ist die längste Zeit, die ein Taucher von Fach sich unter Wasser halten kann, 4 Min. 46 $\frac{1}{5}$ Sec., ein Kunststück, welches von einem „Professor“ Enoch ausgeführt worden sein soll. Richet (25) berichtet von einem Capitän James, welcher 4 Min. 14 Sec. unter Wasser blieb, und giebt auch an, dass kein Taucher den Preis von 5000 Francs hat erobern können, welcher in London demjenigen ausgesetzt war, welcher 5 Minuten unter Wasser bleiben könnte.

Da man aus vorstehenden Ziffern ersieht, dass mehrere der Versuchspersonen nach 20 tiefen Inspirationen über 3 Min. gekommen sind, und zwar bei ihren ersten Versuchen, also ohne dass die Uebung das Resultat hat beeinflussen können, erscheint es nicht unmöglich, dass eine systematische Benutzung von gründlicher Lungenventilation vereint mit Uebung höhere Werthe als diese soeben als bisher unübertroffen bezeichneten ergeben könnte.

Die eigentliche Bedeutung des Angeführten liegt indess nicht darin, dass der Weltrecord im Tauchen nach der Zeit möglicher Weise um einige Secunden erhöht werden könnte, sondern in der Leichtigkeit, mit welcher gewöhnliche Schwimmer und Taucher, die selten länger als $\frac{1}{2}$ bis 1 Min. unter Wasser aushalten können, ohne Schwierigkeit ihre Fähigkeit in dieser Hinsicht wesentlich erhöhen können.

Es ist indess nicht gut, diese Versuche mit einer allzu grossen Anzahl tiefer Inspirationen auszuführen. Schon bei etwa 20 solchen

stellen sich, individuell früher oder später, verschiedene Unannehmlichkeiten ein, wie Schwindel, Pochen in den Schläfen, flimmernde Gesichtssensationen u. s. w. Eine allgemeine Regel aufzustellen über die geeignetste Anzahl tiefer Inspirationen zur Erreichung des, praktisch genommen, grössten Gewinnes, lässt sich kaum thun, was auch aus den grossen individuellen Schwankungen hervorgeht, wie sie die Tabellen S. 319 zeigen. Am geeignetsten dürfte es sein, mit der Uhr in der Hand durch einige einfache Versuche die Anzahl tiefer Respirationen zu erforschen, welche man ohne Nachtheil ausführen kann und die nach der Berechnung die grösste verwendbare Zunahme geben. Auch wenn man sich auf 10 bis 15 tiefe Athemzüge beschränkt, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen keine der oben erwähnten Unannehmlichkeiten im Gefolge haben, wird die Zunahme auf jeden Fall höchst bedeutend, da dieselbe bei den oben beschriebenen Versuchen nach 10 Athemzügen zwischen 100 und 250 Procent der ursprünglichen Fähigkeit variirte.

Es ist von Wichtigkeit, dass die tiefen Athemzüge in ruhigem, normalem Rhythmus ausgeführt werden, so dass sie kein belästigendes Gefühl von Athemlosigkeit verursachen. Auch darf nicht vergessen werden, dass die Ausführung der tiefen Respirationen eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt, und dass es Zufälle geben kann, z. B. wenn es gilt, einen Ertrinkenden zu retten, wo man dadurch einige der werthvollsten Secunden verlieren kann. Dass indess der Gewinn grösser ist als die Zeit, welche die tiefen Athemzüge verlangen, kann man aus der Tabelle S. 319 ersehen. Wenn man die Zeit, welche 10 tiefe Respirationen erheischen, zu ungefähr 40 Secunden berechnet, findet man, dass der Unterschied zwischen dem Werthe für beispielsweise die Inspirationsstellung nach gewöhnlicher Athmung und nach zehn tiefen Inspirationen bei den Meisten höher steigt als 40 Secunden. Nach einiger Uebung dürfte mit aller Wahrscheinlichkeit der Gewinn bedeutend grösser werden.

Es dürfte zu erwähnen sein, dass ich mich, wie die acht anderen Versuchspersonen, bei diesen Versuchen vollkommen unbeweglich gehalten habe, und dass jede Bewegung in Folge des dadurch verursachten grösseren Sauerstoffverbrauches eine Beschränkung in der Grösse des Zuschusses, der durch die Lungenventilation erworben wird, im Gefolge hat.

Nachdem ich über diese Versuche und deren Resultate wegen der praktischen Bedeutung, die sie vielleicht haben können, etwas ausführlicher berichtet habe, gehe ich zum Bericht über die passive Respirationspause und deren Erklärung über.

Bereits vorher ist betont worden, dass diese Pause zum Theil als eine *Apnoea vera* aufzufassen sei.

Wie gleichfalls oben angedeutet worden, ist es gelungen, bei Thieren durch Einblasen von verhältnissmässig sauerstoffarmen Gas-mischungen Apnoe hervorzurufen. Head (21) hat sogar beim Kaninchen durch Einblasen von reinem Wasserstoffgas Apnoe erhalten, obgleich diese nur von kurzer Dauer war.

Die Ursache dieser so erzeugten Apnoe ist vor Allem in der besonders von den pulmonalen Vagusfäden ausgegangenen reflectorischen Hemmung gesucht worden.

Meine Versuchsanordnung erlaubte mir natürlich nicht, zu studiren, welchen Einfluss besonders der N. vagus oder Nerven überhaupt auf die Entstehung und Dauer der Pause haben. Dagegen vermochte ich mit Leichtigkeit zu erforschen, ob ich mit Benutzung von sauerstoff-arter Luft oder sogar Wasserstoff bei mir nach tiefen Inspirationen eine Pause erzeugen konnte.

Aus den oben beschriebenen Versuchen ist hervorgegangen, dass ich nach tiefen Athemzügen in der Luft, welche nur 10 Proc. Sauerstoff enthielt, constant eine kurze Apnoe erhielt. Ich setzte diese Versuche mit immer sauerstoffärmeren Luftmischungen fort und erhielt bei allen eine kurze Pause in Expirationsstellung unmittelbar nach den tiefen Respirationen.

Ich machte zuletzt eine Anzahl Versuche mit tiefen Inspirationen in reinem, ungemischtem Wasserstoffgas. Ich konnte bis vier derartige Versuche machen, ohne Symptome von Athemnoth zu bemerken, welche dagegen eintraten, sobald ich diese Zahl überschritt.

Bei diesen Versuchen erhielt ich ebenfalls constant eine kurze, $1\frac{1}{2}$ bis 2 Secunden lange Pause nach der letzten Expiration, bevor die Athmung in Luft zu ihrer normalen Form zurückging. Eine Variation der Länge liess sich bei dieser Pause nicht nachweisen. Verglichen mit der Länge der Pause, welche nach einer tiefen Inspiration in gewöhnlicher Luft erhalten wurde, beträgt die Länge derselben also nur ungefähr die Hälfte der letzteren.

Hieraus scheint hervorzugehen, als ob jegliche tiefe, kräftige Inspiration in irgend einer Weise stets einen Athmungsstillstand in Expirationsstellung verursacht, abgesehen von der Ventilation, und wenn dies der Fall ist, muss natürlich die Pause nach tiefen Athemzügen zum Theil auch als eine *Apnoea spuria* aufgefasst werden.

Es ist interessant zu beobachten, dass ein gewisser Zusammenhang zwischen der Ausführung von kräftigen, tiefen Respirationenbewegungen

und der Möglichkeit, überhaupt Apnoe hervorrufen zu können, zu bestehen scheint.

Zahlreiche Versuche von Fredericq (22, 23, 24), Speck und Dohmen¹ u. A. thun dar, dass Thiere, welche mit normaler Amplitude in sehr sauerstoffreicher Luft athmen, d. h. in reinem Sauerstoffgas, keine Apnoe zeigen, nur einen verlangsamten Respirationsrhythmus. Dagegen — sobald ein kräftigerer Inspirationsimpuls ausgesandt wird, so dass eine stärkere Ausdehnung der Lungen eintritt, ist es möglich, auch mit sehr sauerstoffarmer Luft, ja sogar mit reinem Wasserstoffgas Apnoe zu erzeugen. Dies scheint darauf zu deuten, dass gerade die Ausdehnung der Lungen oder vielleicht der forcirte Respirationsimpuls Bedingung für die Möglichkeit wäre, die erwähnte Athmungspause hervorzurufen.

Möglicher Weise könnte man sich den Verlauf hierbei so denken, dass entweder die reflectorische Hemmungswirkung von centripetal führenden Nerven, hervorgerufen durch die Ausdehnung der Lungen, wie Gad (14) angenommen, oder auch die forcirten Respirationsimpulse, oder vielleicht beide Momente zusammen eine verminderte Reizbarkeit des respiratorischen Centrums bewirken; in welchem Falle man sich ja denken könnte, dass auch eine unbedeutende Vermehrung des Sauerstoffgehaltes in dem arteriellen Blute hinreichend wäre, eine *Apnoea vera* als Fortsetzung der einleitenden *Apnoea spuria* zu erzeugen.

Wie es sich nun damit auch verhalten mag, so dürfte man in jedem Falle auf Grund der oben angeführten Erfahrungen zu der Behauptung berechtigt sein, dass ein Moment der *Apnoea spuria* zu dem passiven Athmungsstillstande nach tiefen Inspirationen gehört.

Die von Hoppe-Seyler ausgesprochene Ansicht, dass die Apnoe ausschliesslich durch Ermüdung des Athmungsapparates hervorgerufen wird, welche Ansicht von Rosenthal, Filehne u. A. stark bekämpft worden ist, scheint später keine Vorkämpfer mehr gefunden zu haben, und kann offenbar auch nicht mehr aufrecht erhalten werden. Es lässt sich indess nicht leugnen, dass es a priori sehr wahrscheinlich erscheint, dass es sich denken lässt, dass Ermüdung bei solchen Versuchen wie den oben beschriebenen einen gewissen Einfluss ausüben kann.

Da man weiss, welchen bedeutenden Einfluss Müdigkeit und Ermüdung auf alle Gebiete der Thätigkeit des Organismus ausüben, und

¹ Speck und Dohmen, cit. von Fredericq in (23).

wenn man bedenkt, dass eine grössere Anzahl Respirationsbewegungen von so ungewöhnlicher Amplitude wie diejenigen, welche bei den oben beschriebenen Versuchen ausgeführt worden sind, eine recht grosse und aussergewöhnliche Anstrengung für den Athmungsapparat bedeuten muss, so müsste man es sehr befremdlich finden, wenn man nicht besonders nach einer grösseren Zahl tiefer, kräftiger Respirationen Wirkungen nachweisen könnte, deren Ursache in der Müdigkeit des Athmungsapparates: des Centrums oder der Musculatur zu suchen wäre.

Um eine Vorstellung von dem Einflusse der Müdigkeit hierbei zu bekommen, habe ich einen Versuch gemacht, der indess kein directes Resultat ergab. Ich liess den ganzen Thorax mit einem starren Gips-corset umgeben, welches Athembewegungen von normaler Amplitude zulies, den Brustkorb aber daran verhinderte, sich mehr auszudehnen. Es war nun meine Absicht, eine Anzahl forcirter Respirationsimpulse anzuwenden, deren einziger Effect der werden sollte, dass sie das Centrum ermüdeten, während die Sauerstoffzufuhr nicht vermehrt werden sollte, noch die Lungen in erheblichem Grade sollten gespannt werden können. Es zeigte sich indess, dass das Ungewöhnliche in der Situation es unmöglich machte, Apnoeversuche mit nöthiger Passivität vorzunehmen. Dazu wäre es nöthig gewesen, dass ich das Gipscorset eine längere Zeit getragen hätte, so dass das Gefühl dabei eine Gewohnheit geworden wäre und also keine specielle Aufmerksamkeit in Anspruch genommen hätte.

Es erscheint mir indessen höchst wahrscheinlich, dass die Müdigkeit hierbei wirklich einen gewissen Einfluss ausübt. Dafür spricht der Umstand, dass ich stets nach einer grösseren Anzahl, mindestens 20 tiefen Athemzügen, ein specifisches Gefühl von Müdigkeit gehabt habe. Die folgenden Respirationen haben gewissermaassen grössere Anstrengung gekostet.

Aus den Untersuchungen, über welche ich in Obigem berichtet habe, scheint also hervorzugehen, dass die respiratorische Pause nach tiefen Inspirationen als eine Combination von Apnoea vera und Apnoea spuria zu betrachten ist. Sie ist zwar zum grossen Theil eine Apnoea vera, da sie offenbar ihrer Länge nach im höchsten Grade von dem Sauerstoffgehalte der eingeathmeten Luft abhängig ist; sie wird aber entschieden durch eine Apnoea spuria eingeleitet, beruhend auf Reflex oder Müdigkeit des Centrums, da auch eine tiefe Einathmung in reinem Wasserstoffgas eine, obschon kurze Pause erzeugt; und es ist wahrscheinlich, dass nach einer grösseren Anzahl tiefer Respirationen

die Müdigkeit dazu beiträgt, die Länge der Pause zu vermehren. In solchem Falle ist auch dieser Antheil der Pause als eine Apnoea spuria zu betrachten.

Litteratur.

1. Rosenthal, J., *Die Athembewegungen und ihre Beziehungen zum Nervus vagus*. Berlin 1862.
2. Thiry, L., Des causes des mouvements respiratoires et de la dyspnée. *Rec. des travaux de la société. médic. allem.* Paris 1865. Ref. von Rosenthal im *Centralbl. f. die med. Wissensch.* 1865. S. 611.
3. Czermak, J., Ein Experiment über die Beziehungen des Gaswechsels in den Lungen zum Athmungsbedürfnisse beim Menschen. *Centralbl. für die med. Wissensch.* 1866. Bd. IV. S. 81.
4. Hering, Paul, Einige Untersuchungen über die Zusammensetzung der Blutgase während der Apnoe. *Diss.* Dorpat 1867.
5. Pflüger, E., Ueber die Ursache der Athembewegungen, sowie der Dyspnoë und Apnoë. *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1868. Bd. I. S. 100.
6. Brown-Séguard, in *Bull. de la Soc. de Biol.* 1871. S. 135 u. 156 (cit. von Fredericq (23) und im *Arch. de Physiol. normale et pathologique*. 1872. Bd. IV. S. 202.
7. Ewald, Aug., Zur Kenntniss der Apnoe. *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1873. Bd. VII. S. 575.
8. Filehne, W., Ueber Apnoë und die Wirkung eines energischen Kohlensäurestromes auf die Schleimhäute des Respirationsapparates und über den Einfluss beider auf verschiedene Krampfformen. *Arch. f. Anat. und Physiol.* 1873. Physiologische Abtheilung. S. 361.
9. Rosenbach, O., Zur Physiologie des Nervus vagus. *Centralbl. f. d. med. Wissensch.* 1877. S. 97.
10. Häfner, G., Ueber die Bestimmung des Hämoglobin- und Sauerstoffgehaltes im Blute. *Zeitschr. f. physiol. Chem.* 1879. Bd. III. S. 1.
11. Hoppe-Seyler, F., Ueber die Ursache der Athembewegungen. *Ebendas.* S. 105.
12. Filehne, W., Ein Beitrag zur Physiologie der Athmung und der Vasomotion. Nachtrag. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* 1879. Physiol. Abtheil.
13. Rosenthal, J., Die Physiologie der Athembewegungen und der Innervation derselben. *Hermann's Handbuch*, 1880. IV. S. 163.
14. Gad, J., Ueber Apnoë. Würzburg 1880.
15. Bieletsky, N. F., Zur Frage über die Ursache der Apnoe. *Biol. Centralbl.* 1882.
16. Knoll, Ph., Athmung bei Erregung der Vaguszweige. *Wien. Akad. Sitzungsber.* 1884. LXXXIII. 3.

17. Miescher-Büsch, F., Bemerkungen zur Lehre von den Athembewegungen. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* 1885. Physiol. Abth.; wie F. Holmgren's Referat in *Upsala Läkaref. förhandl.* 1885. Bd. XXI. S. 184.

18. Mosso, Angelo, Periodische Athmung und Luxusathmung. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* 1886. Physiol. Abth.

19. Marckwall, Max, Die Athembewegungen und deren Innervation beim Kaninchen. *Zeitschr. f. Biol.* 1887. Bd. XXIII.

20. Franck, C., und Langendorff, O., Ueber die automatische Thätigkeit des Athemcentrums bei Säugethieren. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* 1888. Physiol. Abth.

21. Head, On the regulation of respiration. *Journal of Physiology.* 1889.

22. Fredericq, Léon, Ueber die Tension des Sauerstoffes im arteriellen Peptonblut bei Erhöhung derselben in der eingeathmeten Luft. *Centralbl. f. Physiol.* 1894. Bd. VIII. S. 34.

23. Derselbe, Apnée. *Dictionnaire de Physiologie* par Ch. Richet 1895. T. I. S. 630.

24. Derselbe, L'augmentation de la tension de l'oxygène peut-elle produire l'apnée? *Arch. de Biol.* 1895. XIV. S. 119.

25. Richet, Ch., Asphyxie. *Dictionnaire de Physiol.* par Ch. Richet 1895. T. I. S. 728.

Untersuchungen über den Einfluss des Tetanus auf die absolute Festigkeit des Muskels.¹

Von

Dr. Karl Petró.

(Aus dem physiologischen Laboratorium der Universität Lund.)

Betreffs der hier angegebenen Frage liegen, so viel ich weiss, nicht viele Untersuchungen vor. Wundt² hat früher dieser Frage seine Aufmerksamkeit gewidmet. Er hat seine Untersuchungen in der Weise vorgenommen, dass er die Muskeln durch Gewichte belastet hat. „Nach jeder Belastung wurde kurze Zeit zugewartet, und nachdem sich gezeigt hatte, dass der Muskel ruhend die Belastung noch trug“, wurde er tetanisirt. Bei jedem neuen Versuche dieser Art wurde das Gewicht vermehrt, bis der Muskel zerrissen wurde. Dies trat, wie Wundt fand, immer während des ruhenden Zustandes des Muskels ein. Aus diesen Versuchen zieht er den Schluss, dass die Festigkeit („Cohäsion“) des Muskels während des Tetanus nicht vermindert wird. Ob aber dieselbe dabei vermehrt wird, hat er nicht geprüft, nimmt jedoch an, dass dies nicht der Fall ist, sondern dass die Festigkeit des Muskels während des Tetanus sich nicht verändert.

In der vor einigen Jahren erschienenen Reihe von Abhandlungen von Blix³ über die Länge und die Spannung des Muskels berührt dieser Autor auch die Frage nach der Zerreißung der Muskeln und erwähnt die Beobachtung, dass „ein in seiner natürlichen Länge festgehaltener Muskel beim Tetanisiren oft von den zusammenziehenden Kräften zerrissen wird“.

¹ Der Redaction am 28. October 1901 zugegangen.

² Wundt, *Die Lehre von der Muskelbewegung*. Braunschweig 1858.

³ Blix, Magnus, Die Länge und die Spannung des Muskels. *Dies. Arch.* Bd. III. S. 295. Bd. IV. S. 399 und Bd. V. S. 150.

In neuester Zeit haben Carvallo und Weiss¹ eine Untersuchung über die Festigkeit des ruhenden bzw. des tetanisirten Muskels mitgetheilt. Sie haben die zur Zerreiſsung des Muskels nöthige Kraft beim tetanisirten Muskel grösser gefunden als bei dem ruhenden, symmetrischen, und zwar gerade so viel grösser, als die „Contractionskraft“ des betreffenden Muskels „auf einem geachteten isometrischen Myograph gemessen“. Weiter fügen sie dazu die Bemerkung, dass die symmetrischen Muskeln in ruhendem Zustande identische Werthe („les mêmes chiffres“) geben. Die Autoren beschreiben ihre Versuchsanordnung nicht näher, und besonders wird gar nicht erwähnt, wie die zur Zerreiſsung der Muskeln benutzte Kraft dargestellt worden ist.

Ich habe mir die Aufgabe gestellt, den Einfluss des Tetanus auf die absolute Festigkeit des Muskels zu prüfen. Bei dieser Untersuchung bin ich in folgender Weise vorgegangen. Das Muskelpräparat ist in dem von Blix in der citirten Arbeit beschriebenen Spannungsschreiber aufgehängt worden. Die Spannung habe ich auf der Kymograph-trommel registriert.

Als Kraftquelle, um die zur Zerreiſsung des Muskels nöthige Spannung darzustellen, habe ich eine solche wählen wollen, welche eine bis zur Zerreiſsung gleichförmig wachsende Dehnung bewirken konnte. Verschiedene Versuche mit demselben Muskel, welche z. B. bei successiver Belastung des Muskels durch immer grössere Gewichte nöthig gewesen wären, habe ich vermeiden wollen. Es schien mir nämlich wahrscheinlich zu sein, dass die starke Belastung, welche man dabei mehrere Male anzuwenden nöthig hätte, gleich wie sie die sonstigen Eigenschaften des Muskels verändert, auch einen anderen Festigkeitsgrad des Muskels bewirken würde.

Diese Annahme wurde auch durch meine spätere Erfahrung bestätigt. So fand ich z. B. einmal, als der erste Versuch misslungen war (wegen Zerreiſsung des Fadens), dass bei diesem Versuche eine höhere Spannung des Muskels erreicht worden war, als bei der sofort nachher vorgenommenen Zerreiſsung. Diese Beobachtung bestätigt meine ursprüngliche Annahme, dass man, um die Ergebnisse der verschiedenen Versuche mit einander vergleichen zu können, mit jedem Muskel nur eine Dehnung machen darf.

Weiter muss man fordern, dass die Dehnung des Muskels immer mit derselben Schnelligkeit erfolgt. Es dürfte nämlich zu erwarten sein, dass das Maass der bei Zerreiſsung des Muskels erreichten Span-

¹ C. Carvallo et G. Weiss, *Résistance à la rupture des muscles à l'état de repos ou de contraction. C. R. de la soc. de biologie.* 1899. S. 122.

nung von der Zeit abhängt, während welcher die spannende Kraft auf den Muskel einwirkt. Mit dieser Auffassung steht auch die Erfahrung von Carvallo und Weiss in Uebereinstimmung. Sie geben nämlich an, dass der Muskel eine Zeit lang, z. B. 4 bis 5 Secunden, dasselbe Gewicht erträgt, welches später die Zerreiſſung bewirkt. Ein Einfluss der Zeit, während welcher der Muskel vor der Zerreiſſung gedehnt wird, auf die gefundene Festigkeit des Muskels würde wohl am sichersten vermieden werden, wenn der Muskel möglichst schnell, einfach mit einem Rucke abgerissen würde. Diese Methode lässt sich jedoch nicht anwenden, weil Eigenschwingungen des Spannungsschreibers dabei notwendiger Weise aufgetreten wären, und folglich die Spannungscurve dadurch verändert worden wäre.

Man muss deshalb die Dehnung allmählich erfolgen lassen. Eine Kraftquelle, um die Muskeln zu zerreiſſen, welche die erwähnten Bedingungen gut erfüllte, glaube ich im elektrischen Motor gefunden zu haben, welcher sonst zum Kymograph benutzt wird. Ich habe denselben (natürlich ohne Trommel) mit der Axe in horizontaler Stellung benutzt. Das untere Ende des Muskelpräparates wurde mit einem Faden (Seide oder Kupfer) umbunden und der Faden an der mit einem Loche durchbohrten Axe befestigt. Als der Motor in Bewegung gesetzt wurde, wand sich der Faden um dessen Axe. Dabei wird der Muskel gedehnt, bis die Zerreiſſung eintritt und seine Spannung auf der Trommel des anderen Kymographs aufzeichnet.

Der Spannungsschreiber war auf einem verticalen Stativ befestigt. Weiter nach unten, an demselben Stativ, war ein an der unteren Seite mit einer rinnenförmigen Vertiefung versehener Arm befestigt, durch welchen die horizontale, sonst nach oben frei bewegliche Axe des Motors in ihrer Stellung festgehalten wurde. Die Aufstellung war eine solche, dass der Faden eine verticale Stellung einnahm. Durch diese Anordnung wurde erreicht, dass dieselbe Kraft, mit welcher der Faden durch das Muskelpräparat auf den Spannungsschreiber in der Richtung nach unten wirkte, durch die Befestigung des Fadens an der Axe und durch die Festhaltung dieser am erwähnten Arme, auf diesen in der Richtung nach oben wirkte. Auf diese Weise wurde vermieden, dass das verticale Stativ des Spannungsschreibers durch die Spannung des Fadens zur Seite gebogen wurde, welches eine falsche Registrirung der Spannung bewirkt hätte.

Mit dieser Versuchsanordnung wurde die Dehnung des Muskels in gleichförmiger Weise bewirkt, weil die Rotationsschnelligkeit des betreffenden Motors durch die zur Zerreiſſung der benutzten Muskeln erforderliche Arbeitsleistung nicht beeinflusst wurde. Bei dieser Anord-

nung war ich auch in der Lage, die Spannung des in der natürlichen Lage tetanisirten Muskels registriren zu können.

Als Präparat habe ich theils, dem Vorschlage von Fick nach, die beiden langen Adductoren (*Gracilis* und *Semimembranosus*; nur bei einigen wenigen, besonders grossen Thieren aber nur den *Gracilis*) der beiden Schenkel des Frosches, theils die *Musc. gastrocnemii* benutzt. Von jedem Frosche habe ich im Allgemeinen diese beiden Präparate angewendet, indem ich sowohl den gemeinschaftlichen Ansatz beider Adductoren am Becken, als die beiden Beinenden an den Knien und die unteren Ansätze der *Gastrocnemii* bewahrt habe. Zuerst ist der Versuch mit den Adductoren vorgenommen worden, indem das Becken am Spannungsschreiber befestigt wurde, nacher mit dem *Gastrocnemius*, dessen oberstes Ende mit einem Haken durch das Kniegelenk fixirt wurde.

Bei der in der geschilderten Weise ausgeführten Zerreißung der Muskeln beobachtete ich dieselbe Erscheinung, welche Blix in der citirten Arbeit erwähnt hat, nämlich dass „die Zerreißung nicht plötzlich von Statten geht, sondern mehr allmählich, indem erst nur eine oder einige Muskelfasern nachgeben und nachher mehrere“. Nicht immer trat das Bersten der Muskelfasern mit derselben Gleichförmigkeit ein. Zuweilen wurde sogar beobachtet, dass erst ein Theil des Muskels zerrissen wurde, nachher aber die Spannung des rückständigen Theiles wieder etwas stieg, bis das Bersten auch hier anfang. In diesen Fällen zeigte die Spannungscurve eine oder einige wenige Zacken des ansteigenden Theiles nahe an der Spitze. Am öftesten aber bot die Curve solche Unebenheiten nicht dar.

Bei den Versuchen mit den Adductoren trat die Zerreißung immer im Muskelbauche ein, betreffs des *Gastrocnemius* aber geschah dies nicht mit derselben Regelmässigkeit. Zuweilen wurde nämlich die obere Insertion abgerissen, zuweilen und öfters die Achillessehne zerrissen. Im Allgemeinen aber trat die Zerreißung im Muskel selbst ein. Dabei folgen die fächerförmig ausgebreiteten Sehnenblätter der oberen bzw. der unteren Insertionssehne ganz der betreffenden Sehne, wodurch die Rissfläche des Muskels — in Uebereinstimmung mit dem Bau dieses Muskels — die Gestalt zweier, in sehr spitzem Winkel gegen einander verlaufender Flächen erhält.

Zuerst habe ich die Festigkeit der symmetrischen Muskeln in ruhendem Zustande geprüft. Dabei habe ich fast völlig ausnahmslos verschiedene Werthe rechts und links bekommen. Der Unterschied ist im Allgemeinen gar nicht unbedeutend gewesen, oftmals 10 bis 20 Procent oder sogar noch mehr (vgl. nachstehende Figur).

Dieses Ergebniss steht zu demjenigen von Carvallo und Weiss, welche bei symmetrischen Muskeln angeblich identische Werthe bekommen haben, in bestimmtem Widerspruche. Ueber die Ursache dieses abweichenden Ergebnisses der genannten Autoren wage ich nichts anzusprechen, da sie ihre Versuchsanordnung nicht angegeben haben (und da auch die Zahl der betreffenden von ihnen vorgenommenen Versuche nicht erwähnt wird). Jedenfalls kann ich nichts Anderes finden, als dass meine Versuchsanordnung einwandfrei sein dürfte.

Da wir also betreffs des Festigkeitsgrades einen beträchtlichen Unterschied zwischen den symmetrischen Muskeln gefunden haben, ist es keine so ganz einfache Aufgabe, den Einfluss des Tetanisirens des Muskels auf seine Festigkeit zu bestimmen. Wie ich schon vorher auseinander gesetzt habe, kann es nämlich bei solchen Bestimmungen niemals erlaubt sein, mit jedem Muskel mehr als einen Versuch dieser Art auszuführen. Folglich giebt es meines Erachtens keinen anderen Weg, um zu einer Antwort auf die gestellte Frage zu gelangen, als die mühsame statistische.

Demnach habe ich eine etwas grössere Zahl Versuche ausgeführt. In einer Reihe habe ich die Zerreiissung vorgenommen, wenn der eine Muskel in ruhendem Zustande verblieb, der symmetrische aber gerade vor dem Beginne der Dehnung in Tetanus versetzt worden war. Bei Zerreiissung des tetanisirten Muskels habe ich immer die Dehnung bei der natürlichen Länge des Muskels anfangen lassen. Weiter habe ich Versuche gemacht, wo der eine Muskel in ruhendem Zustande war, der symmetrische sich in Tetanus befand, aber nach Einwirkung des tetanisirenden Reizes während der Dauer von 30 bis 60 Secunden schon ermüdet war. Bei anderen Versuchen bin ich in der Weise vorgegangen, den einen Muskel kurz vor dem Beginne der Dehnung in Tetanus zu versetzen, den anderen aber schon 30 bis 60 Secunden früher. Endlich habe ich einige Versuche vorgenommen, wo der Muskel erst, wenn seine Dehnung in geringerem Maasse angefangen hatte, in Tetanus versetzt wurde, der symmetrische Muskel aber in ruhendem Zustande verblieb.

Die Ergebnisse meiner Versuche führe ich unten in tabellarischer Form an. Mit ad. werden die mit den Adductoren vorgenommenen Versuche bezeichnet, mit ga. diejenigen mit den Gastrocnemii. — ruh. bezeichnet diejenigen Versuche, wo die beiden symmetrischen Muskeln in ruhendem Zustande zerrissen worden sind. Mit tet. werden die Versuche bezeichnet, wo der eine Muskel kurz vor dem Beginne der Dehnung in Tetanus versetzt worden ist; mit tet. 30" diejenigen, wo Tetanus schon 30 bis 60 Secunden früher hervorgerufen worden

ist, und mit tet. w. diejenigen, wo Tetanus erst nach dem Beginne der Dehnung angefangen hat. Bei diesen drei Versuchsreihen ist der andere, symmetrische Muskel in ruhendem Zustande zerrissen worden. Als tet./tet. 30'' werden diejenigen Versuche bezeichnet, wo der eine Muskel kurz vor, der andere aber schon 30 bis 60 Secunden vor dem Beginne der Dehnung in Tetanus versetzt worden ist.

Bei jedem Versuchspaare habe ich die Differenz der Festigkeit der beiden symmetrischen Muskeln in Procenten des Festigkeitsmaasses des einen der betreffenden Muskeln ausgerechnet. In der Serie ruh. ist die Differenz in Procenten des kleineren Werthes jedes Versuchspaares berechnet und wird folglich immer positiv. Ich bin hier in dieser Weise vorgegangen, weil ich leider versäumt habe, in meinem Versuchsprotokolle rechts und links zu notiren. Folglich liefern meine Untersuchungen keinen Beitrag zu der Frage, ob sich eine Differenz zwischen den symmetrischen, linken bezw. rechten Muskeln in Bezug auf die absolute Festigkeit vorfindet.

Bei den drei Versuchsreihen tet., tet. 30'' und tet. w. ist die Differenz jedes Versuchspaares in Procenten der Festigkeit des ruhenden Muskels berechnet und hier (wie auch in der sofort nacher erwähnten Serie) haben wir demnach abwechselnd positive und negative Werthe dieser Differenz bekommen. Bei der Serie tet./tet. 30'' ist die Differenz in Procenten der Festigkeit des 30 bis 60 Secunden lang tetanisirten Muskels ausgedrückt.

Für jede einzelne Serie habe ich die durchschnittliche Differenz berechnet, indem ich das arithmetische Mittel der in Procenten ausgedrückten Differenzen jedes einzelnen Versuchspaares genommen habe. Diese durchschnittliche Differenz ist als α bezeichnet worden.

Da ein Unterschied sich zwischen den Werthen der symmetrischen Muskeln in ruhendem Zustande fast immer vorfindet, so hat man offenbar bei jeder Versuchsserie, wo man einen Faktor nur auf den einen Versuch jedes Versuchspaares hat einwirken lassen, eine gewisse durchschnittliche Abweichung zu erwarten — auch wenn der betreffende Faktor (wie z. B. Tetanus) auf die Festigkeit des Muskels gar keinen Einfluss ausgeübt hat. Die Grösse dieser Durchschnittsabweichung, welche man bei jeder Serie zu erwarten hat, auch wenn der bei der betreffenden Serie eingetretene Faktor die Festigkeit nicht verändert, hängt offenbar von der Zahl der Beobachtungen der betreffenden Serie ab. Es kann angenommen werden, dass die Grösse dieser durchschnittlichen Abweichung, welche man erwarten kann, im Verhältnisse $1/\sqrt{n}$ (wenn n die Zahl der Versuche bezeichnet) zum Werthe α der Serie ruh. steht. Nach dieser Formel

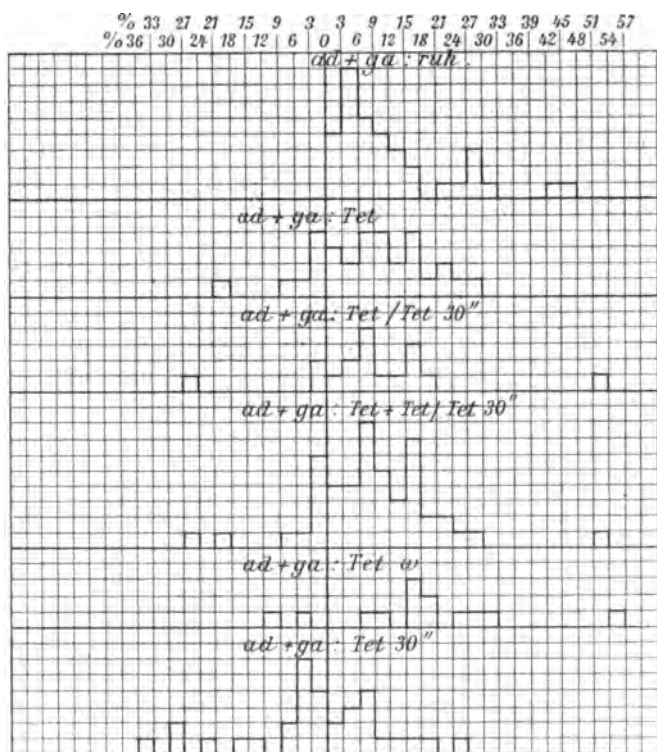
a der Serie ruh. \sqrt{n}

habe ich für die verschiedenen Versuchsreihen die Abweichung berechnet, welche man bei jeder Serie ohne einen Einfluss des Tetanus erwarten kann, und welche als b bezeichnet wird. In nachstehender Tabelle wird dieser Werth für jede Serie angegeben.

	Die benutzten Muskeln	Zahl der Versuche	a Die gefundene durchschnittl. Abweichung Proc.	b Die durchschn. Abw., welche man ohne ei- nen Einfl. d. Tetanus erwarten kann, nach d. Formel a/\sqrt{n} der Serie ruh. berechnet. Proc.	Der Werth a/b
ruh.	ad.	19	∓ 17.52		
	ga.	15	∓ 7.49		
	ad. + ga.	34	∓ 13.10		
tet.	ad.	20	+ 8.16	∓ 3.92	2.13
	ga.	12	+ 7.70	∓ 2.16	3.56
	ad. + ga.	32	+ 7.99	∓ 2.32	3.45
tet. 30"	ad.	20	- 2.235	∓ 3.92	0.57
	ga.	14	- 1.46	∓ 2.00	0.73
	ad. + ga.	34	- 1.91	∓ 2.25	0.85
tet./tet. 30"	ad.	12	+ 9.01	∓ 5.06	1.78
	ga.	5	+ 9.79	∓ 3.35	2.92
	ad. + ga.	17	+ 9.24	∓ 3.18	2.91
tet. w.	ad. + ga.	13	+ 17.97	∓ 3.68	4.95
tet. + tet./tet. 30"	ad. + ga.	49	+ 8.425	∓ 1.87	4.51
tet. + tet. w. + tet./tet. 30"	ad. + ga.	62	+ 10.43	∓ 1.66	6.27

Es ist sofort ersichtlich, welches grosse Gewicht man bei der Beurtheilung dieser Untersuchungen diesem Werthe b beilegen muss. Denn erst wenn die bei einer Serie gefundene durchschnittliche Abweichung diesen für dieselbe Serie berechneten Werth b deutlich übersteigt, ist man berechtigt, einen Einfluss des bei dieser Serie wirkenden Faktors anzunehmen.

Um eine weitere Uebersicht der bei den einzelnen Bestimmungen gefundenen Werthe geben zu können, ohne die sämtlichen betreffenden Ziffern mittheilen zu brauchen, habe ich meine Untersuchungsergebnisse in einigen Curven (s. u. die Figur) zusammengestellt. Die Abscisse drückt die proportionale Differenz der verschiedenen Versuchs-



paare aus, und die Ausdehnung eines Viereckes entspricht einer Differenz von 3 Procent. Die Ordinate bezeichnet die Zahl der Versuche, und hier entspricht dieselbe Strecke je einem Versuchspare. Jede Curve umfasst eine (oder mehrere) Versuchsserien und liefert eine Uebersicht über die Variabilität der verschiedenen Bestimmungen der betreffenden Serie.

Zuerst lenken wir unsere Aufmerksamkeit auf die obenstehende Tabelle. Was die Versuchsserie tet. betrifft, so ist die gefundene durchschnittliche Abweichung (a), welche positiv ist, nicht so gross wie a in der Serie mit beiden Muskeln in ruhendem Zustande, ist

aber weit (3.45 Mal) grösser als diejenige Abweichung (*b*), welche man ohne einen Einfluss des Tetanus erwarten konnte. Folglich muss man mit grosser Wahrscheinlichkeit annehmen, dass Tetanus die Festigkeit des Muskels erhöht, wenn der Muskel kurz vor dem Anfange der Dehnung in Tetanus versetzt worden ist.

Die Serie tet. 30" giebt eine kleine negative Durchschnittsabweichung. Diese (*a*) ist jedoch sowohl für jede der Serien der Adductoren bezw. derjenigen der Gastrocnemii ausgerechnet, als für diese beiden Serien zusammengenommen, nicht so gross als diejenige durchschnittliche Abweichung (*b*), welche man, der benutzten Berechnung nach, auch ohne einen Einfluss des Tetanus erwarten konnte. Die gefundene durchschnittliche Abweichung dieser beiden Serien müssen wir demnach als eine Zufälligkeit auffassen.

Damit stimmt auch das Ergebniss der Serie tet./tet. 30" gut überein. Die gefundene Durchschnittsabweichung (*a*) dieser Serie fällt nämlich mit derjenigen der Serie tet. fast zusammen. Diese Thatsache, ebenso das Ergebniss der Serie tet. 30" sprechen also dafür, dass der 30 oder 60 Secunden lang tetanisirte Muskel bei der Bestimmung der absoluten Festigkeit dieselben Werthe wie der ruhende Muskel ergibt. Folglich kommen wir zu der Schlussfolgerung, dass der tetanisirende Reiz, wenn der Muskel durch denselben schon ermüdet worden ist, nicht im Stande ist, seine Festigkeit zu erhöhen, und auch nicht herabzusetzen.

Die Serie tet. w. zeigt eine bedeutende positive durchschnittliche Abweichung (*a*), grösser als der Werth *a* der Versuchsserie mit den beiden symmetrischen Muskeln in ruhendem Zustande. Trotz der geringen Zahl der Versuche tet. w. (13) ist doch die gefundene Durchschnittsabweichung fast 5 (4.95) Mal grösser als die Abweichung (*b*), welche man ohne einen Einfluss des Tetanus erwarten konnte. Da die gefundene Durchschnittsabweichung entschieden grösser ist als diejenige der Serie tet., können wir daraus schliessen, dass, wenn wir den Tetanus möglichst spät, mit anderen Worten, erst nach dem Anfange der Dehnung eintreten lassen, seine Fähigkeit, die Festigkeit des Muskels zu erhöhen, grösser ist, als wenn der Muskel etwas früher in Tetanus versetzt worden war. Diese Erscheinung muss offenbar in der Weise gedeutet werden, dass die Müdigkeit des Muskels sich in der Serie tet. schon zum Theil geltend gemacht hat.

Oben sind wir zu dem Schlusse gekommen, dass der tetanisirende Reiz, wenn der Muskel durch denselben schon ermüdet worden ist, keinen Einfluss auf seine Festigkeit ausübt. Wenn wir davon ausgehen, würden folglich die Werthe der Serie tet. und diejenigen der

Serie tet./tet. 30" einander entsprechen. Wir können deshalb diese beiden Serien zusammenrechnen und bekommen dann, wie die Tabelle angiebt, als durchschnittliche Abweichung + 8.425 Procent, der entsprechende Werth *b* aber ist nur 1.87 Procent, also 4.51 Mal geringer. Nehmen wir mit diesen beiden Serien noch die Serie tet. w. zusammen, so erhalten wir als gefundene Durchschnittsabweichung + 10.43 Procent, als berechnete Abweichung, wenn Tetanus ohne Einfluss gewesen wäre, aber nur 1.66 Procent. Diese ist folglich mehr als 6 Mal geringer als jene. Wir finden folglich diejenige Schlussfolgerung, welche wir schon aus der Serie tet. gezogen haben, völlig bestätigt.

Wir lenken jetzt unsere Aufmerksamkeit auf die beigelegten Curven über die Variabilität der verschiedenen Bestimmungen. Bei Musterung dieser Curven können wir diejenigen der zwei Serien tet. und tet. 30", einzeln für sich betrachtet, ausser Acht lassen, da wir schon vorher zu dem Schlusse gekommen sind, dass diese zwei Bestimmungsreihen einander entsprechen. Diese beiden Serien sind deshalb in eine Curve zusammengefasst worden, welche als tet. + tet./tet. 30" bezeichnet wird. Vergleichen wir dieselbe mit der Curve tet. 30", so tritt der Unterschied sehr deutlich hervor. Die Curven zeigen zwar viele Unregelmässigkeiten, eine natürliche Folge der geringen Zahl der Versuche, es lässt sich jedoch nicht verkennen, dass der positive und der negative Theil der Curve tet. 30" einander einigermaassen entsprechen. Mit der Curve tet. + tet./tet. 30" verhält sich die Sache in ganz anderer Weise: der negative Theil ist hier viel schwächer repräsentirt als der positive, und wenn jener seinen höchsten Punkt zwischen 0 und 3 Proc. erreicht, trifft dies für den positiven Theil erst zwischen 6 und 18 Proc. zu. Die Feststellung dieser Thatsache bestätigt unsere frühere Schlussfolgerung, dass der tetanisirende Reiz, wenn der Muskel kurz vor dem Anfange der Dehnung in Tetanus versetzt worden ist, die Festigkeit des Muskels vermehrt, wenn der Muskel aber durch die 30 bis 60 Sekunden lange Einwirkung desselben schon ermüdet worden ist, die Festigkeit nicht verändert.

Es ist schon vorher erwähnt worden, dass die gefundene durchschnittliche Abweichung der Serie ruh. grösser ist als diejenige der Serie tet. + tet./tet. 30". Dieser Umstand lässt sich ja aus den verschiedenen Berechnungsgründen erklären, welche angewendet worden sind, um die durchschnittliche Abweichung dieser Serien zu finden. Die Abweichungen der verschiedenen Versuchspaare in den Serien tet. und tet./tet. 30" sind nämlich theils als positive, theils als negative, diejenigen in der Serie ruh. aber alle als positive berechnet worden.

Wenn die Ergebnisse der Serie ruh. in derselben Weise wie diejenige der anderen Serien berechnet worden wären, würden wir auch einen negativen Theil der Curve ruh. gehabt haben, und wenn die Zahl der Versuche eine genügende gewesen wäre, so wären der positive und der negative Theil der Curve mit einander symmetrisch geworden. Um die Curve ruh. mit den anderen Curven völlig vergleichbar zu machen, wäre es folglich nöthig gewesen, jene mit einem entsprechenden negativen Theile zu suppliren. Wenn wir aber diesen Unterschied der thatsächlich vorhandenen Curven in Erinnerung behalten, so dürfte ihre Vergleichung nicht ohne ein gewisses Interesse sein. Wir finden nämlich, dass der Gipfel der Curve ruh. näher an der Axe (nämlich zwischen 3 und 6 Procent) gelegen ist, als dies beim positiven Theile der Kurve tet. + tet./tet. 30" der Fall ist (nämlich zwischen 6 und 18 Proc.), während der Gipfel des negativen Theiles dieser Curve gerade an der Axe gelegen ist. Diese Thatsache liefert offenbar einen neuen Beweis für den steigenden Einfluss des Tetanus auf die Festigkeit des Muskels.

Was endlich die Curve tet. w. betrifft, so ist zwar die Zahl der Versuche sehr gering, die Curve deutet aber an, dass der Gipfel von der Axe noch weiter entfernt ist als bei der Curve tet. Dies bestätigt unsere frühere Schlussfolgerung, dass, wenn wir den Tetanus erst nach dem Anfange der Dehnung eintreten lassen, seine Fähigkeit, die Festigkeit des Muskels zu erhöhen, grösser ist, als wenn der Muskel etwas früher in Tetanus versetzt worden war.

Wir kommen also zu dem bestimmten Ergebnisse, dass der tetanisirte, nicht aber ermüdete Muskel eine höhere absolute Festigkeit besitzt als der ruhende.

Dieser Schluss steht mit den vorher citirten Untersuchungen von Wundt in Uebereinstimmung, oder wenigstens nicht im Widerspruche. Dieser Autor hatte nämlich gefunden, dass Tetanus die Festigkeit des Muskels nicht vermindert. Den weiteren Schluss von Wundt, dass Tetanus die Festigkeit auch nicht vermehrt, lasse ich hier ausser Acht, da Wundt denselben nicht experimentell geprüft hat.

Auch mit den oben erwähnten Untersuchungen von Carvallo und Weiss stimmen die meinigen in dem Punkte überein, dass Tetanus die absolute Festigkeit des Muskels steigert. Weiter aber glauben diese Autoren gefunden zu haben, dass der Festigkeitsgrad des tetanisirten Muskels, mit demjenigen des ruhenden verglichen, gerade eben so viel grösser ist, wie die Contractionskraft des betreffenden Muskels. Dazu muss erstens bemerkt werden, dass nicht erwähnt wird, unter welchen Bedingungen die Contractionskraft gemessen worden ist. Bekanntlich hängt aber diese Kraft u. A. vom Dehnungsgrade des Muskels ab. Aus

der citirten Arbeit von Blix wissen wir, dass die Contractionskraft des Muskels (wenn wir nur diese selbst berücksichtigen und den von der Elasticität bedingten Theil der Spannung ausser Betracht lassen) mit der Dehnung desselben abnimmt, und zwar in hohem Maasse. Auch kann ich nicht umhin, mich den bei der von Carvallo und Weiss benutzten Versuchsanordnung gewonnenen Ergebnissen gegenüber ablehnend zu verhalten, da dieselbe auch betreffs eines anderen Punktes, nämlich der behaupteten identischen Festigkeit der symmetrischen ruhenden Muskeln zu einer Schlussfolgerung geführt hat, welcher ich in Folge meiner Untersuchungen unmöglich zustimmen kann.

Bei einer ziemlich grossen Reihe von Präparaten habe ich gerade vor der Bestimmung der Festigkeit einen Versuch über die Contractionskraft des Muskels bei seiner natürlichen Länge ausgeführt. Eine Uebereinstimmung zwischen diesem Werthe und dem Unterschiede zwischen der Festigkeit des ruhenden und derjenigen des tetanisirten Muskels, wie Carvallo und Weiss gefunden haben, habe ich nicht gesehen. Was die hierher gehörigen Versuche mit den Adductoren betrifft, so habe ich im Allgemeinen die Contractionskraft einige Male grösser als den Unterschied zwischen der Festigkeit des ruhenden und derjenigen des tetanisirten Muskels gefunden. Trotz des beträchtlichen Wechsels betreffs der Grösse dieses Unterschiedes bei den verschiedenen Bestimmungen giebt es unter den betreffenden (21) Versuchen sogar keinen einzigen, bei welchem ich nicht die Contractionskraft grösser als den betreffenden Unterschied der Festigkeit gefunden habe.

Was die entsprechenden Versuche mit den Gastrocnemii betrifft, so verhält sich die Sache etwas anders. Hier ist nämlich die Contractionskraft, mit der Festigkeit des Muskels verglichen, weit geringer, als es bei den Adductoren der Fall ist. Diese Verschiedenheit hängt offenbar von dem verschiedenen Bau der verschiedenen Muskeln ab. Die Adductoren bestehen aus langen parallelen Fasern, die Musc. gastrocnemii aber aus sehr kurzen, zur Axe des Muskels schräg verlaufenden Fasern, und gerade der letztgenannte Umstand dürfte die relativ geringe Contractionskraft dieser Muskeln erklären. Der schräge Verlauf der Fasern bewirkt nämlich, dass nur ein Theil der Contractionskraft der einzelnen Muskelfasern sich als in der Richtung des Muskels wirkende Contractionskraft des Muskelbauches selbst geltend machen kann. In Uebereinstimmung mit dieser geringeren Contractionskraft der Gastrocnemii ist es auch bei einigen Versuchen mit diesen Muskeln vorgekommen, dass ihre Contractionskraft geringer als der Unterschied zwischen der Festigkeit des ruhenden und derjenigen des

3. Die Tangente und der Krümmungshalbmesser des Punktes xy . Die unbekannte Function, die bestimmt, wie die Ordinate y , von der Abscisse x abhängt, sei:

$$(17a) \quad y = f(x);$$

$f'(x)$ und $f''(x)$ seien der erste und der zweite Differentialcoefficient dieser Function in Beziehung auf x ; weil hier x und y Functionen der Zeit t sind, so haben diese Coefficienten die Werthe:

$$(17b) \quad f'(x) = \frac{dy}{dt} : \frac{dx}{dt}; \text{ und: } f''(x) = \left[\frac{dx}{dt} \frac{d^2y}{dt^2} - \frac{dy}{dt} \frac{d^2x}{dt^2} \right] : \left(\frac{dx}{dt} \right)^3.$$

Bezeichnet daher ϑ den Winkel der Tangente im Punkte xy mit der x -Axe und r den Krümmungshalbmesser desselben Punktes, so sind:

$$(17c) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{und:} \\ \text{tg } \vartheta = \frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dt} : \frac{dx}{dt} = f'(x); \\ r = \frac{[1 + (f'(x))^2]^{3/2}}{f''(x)} = \frac{\left[\left(\frac{dx}{dt} \right)^3 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^3 \right]^{3/2}}{\frac{dx}{dt} \frac{d^2y}{dt^2} - \frac{dy}{dt} \frac{d^2x}{dt^2}}. \end{array} \right.$$

Vermittelst dieser Gleichungen (17c) und der oben angegebenen Werthe der Coordinaten xy können einige geometrische und kinematische Eigenschaften der Muskelcurve näher bestimmt werden.

4. Die Geschwindigkeit $d\sigma/dt$ längs der Curve und die Winkelgeschwindigkeit ω im Punkte xy . Die Coefficienten dy/dt und dx/dt sind die Componenten längs den Axen der Geschwindigkeit, mit welcher die Schreibspitze im Punkte xy längs der Curve bewegt wird, und deren Verhältniss ist nach der Gleichung (17c) die Richtung der Tangente und damit die der Geschwindigkeit. Bezeichnet daher $d\sigma$ ein Element der Curve im Punkte xy , das in der Zeit dt von der Schreibspitze überfahren wird, so dass $d\sigma/dt$ die Geschwindigkeit bedeutet, so ist:

$$(18a) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{d\sigma}{dt} \sin \vartheta = \frac{dy}{dt}; \\ \frac{d\sigma}{dt} \cos \vartheta = \frac{dx}{dt}; \end{array} \right. \text{ wovon: } \begin{array}{l} \text{tg } \vartheta = \frac{dy}{dx} : \frac{dx}{dt} \\ \left(\frac{d\sigma}{dt} \right)^2 = \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dx}{dt} \right)^2. \end{array}$$

Die Werthe für dy/dt und dx/dt sind von den Gleichungen (16c) und (16e) herzuleiten und werden:

$$(18b) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dy_o}{dt} = -S_1 o \cos(\zeta - \alpha) = -o x_o; \quad \frac{dy}{dt} = -o x_o + \varrho(o + \omega) \cos(\alpha + \psi), \\ \frac{dx_o}{dt} = S_1 o \sin(\zeta - \alpha) = o y_o; \quad \frac{dx}{dt} = o y_o + \varrho(o + \omega) \sin(\alpha + \psi), \end{array} \right.$$

weil $d\alpha/dt$ die Winkelgeschwindigkeit σ der Schreibfläche und $d\psi/dt$ die Winkelgeschwindigkeit ω des beweglichen Systems bezeichnet. Die Gleichungen (18a) werden daher vermittelt der Gleichungen (16c):

$$(18c) \begin{cases} \frac{d\sigma}{dt} \sin \vartheta = \frac{dy}{dt} = -S_1 \sigma \cos(\zeta - \alpha) + \rho(\sigma + \omega) \cos(\alpha + \psi), \\ \frac{d\sigma}{dt} \cos \vartheta = \frac{dx}{dt} = S_1 \sigma \sin(\zeta - \alpha) + \rho(\sigma + \omega) \sin(\alpha + \psi). \end{cases}$$

$$(18d) \begin{cases} \operatorname{tg} \vartheta = \frac{-S_1 \sigma \cos(\zeta - \alpha) + \rho(\sigma + \omega) \cos(\alpha + \psi)}{S_1 \sigma \sin(\zeta - \alpha) + \rho(\sigma + \omega) \sin(\alpha + \psi)}, \\ \left(\frac{d\sigma}{dt}\right)^2 = \rho^2(\sigma + \omega)^2 + S_1^2 \sigma^2 - 2\rho\sigma(\sigma + \omega)k, \end{cases}$$

wo in der letzten Gleichung für $S_1 \cos(\zeta + \psi)$ sein Werth k nach der Gleichung (16b) eingeführt ist.

Die Gleichungen (18c) geben weiter:

$$(18e) \begin{cases} \frac{d\sigma}{dt} \sin(\vartheta + \alpha + \psi) = \rho(\sigma + \omega) - \sigma k; \\ \frac{d\sigma}{dt} \cos(\vartheta + \alpha + \psi) = \sigma k; \\ \text{also:} \\ \operatorname{tg}(\vartheta + \alpha + \psi) = \frac{\rho(\sigma + \omega) - \sigma k}{\sigma k}. \end{cases}$$

Bezeichnet Θ den spitzen Winkel zwischen dem Schreibarm ρ' und dem Elemente $d\sigma$ der Curve oder der Tangente im Punkte xy , so ist:

$$\vartheta + \alpha + \psi = \Theta$$

und die letzten Gleichungen werden:

$$(18f) \begin{cases} \frac{d\sigma}{dt} \sin \Theta = \rho(\sigma + \omega) - \sigma k \\ \frac{d\sigma}{dt} \cos \Theta = \sigma k \end{cases} \quad \operatorname{tg} \Theta = \frac{\rho(\sigma + \omega) - \sigma k}{\sigma k};$$

die ersten dieser Gleichungen bestimmen die Componenten der Geschwindigkeit $d\sigma/dt$ längs einer Senkrechten gegen den Schreibarm ρ' und längs dem Schreibarme. In Bezug auf die Frage, wie der Winkel Θ im Verlaufe der Curve sein Zeichen verändert, verweisen wir auf die Abhandlung von Dr. Clopatt.¹ Die letzte Gleichung und die zweite geben:

¹ A. Clopatt, a. a. O. *Diss. Archiv.* Bd. X. S. 271 bis 272.

$$(18g) \quad \left\{ \begin{array}{l} o + \omega = \frac{S_1 o}{\varrho} \frac{\cos(\zeta + \psi - \Theta)}{\cos \Theta} \\ \frac{d\sigma}{dt} = \frac{o h}{\cos \Theta} \end{array} \right.$$

Vermittelst dieser Gleichungen können die Winkelgeschwindigkeit ω und die Geschwindigkeit $d\sigma/dt$ in jedem Punkte xy , für welchen die Lage α , ψ und der Winkel Θ bestimmt oder gemessen sind, berechnet werden.

5. Die Beschleunigung Φ im Punkte xy . Weil $d\sigma/dt$ die Geschwindigkeit längs der Curve und r den Krümmungshalbmesser im Punkte xy bezeichnet, so haben die Normal- und Tangential-Componenten Φ_n und Φ_t der Beschleunigung Φ die allgemeinen Werthe:

$$\Phi_n = \frac{1}{r} \left(\frac{d\sigma}{dt} \right)^2; \quad \text{und} \quad \Phi_t = \frac{d \left(\frac{d\sigma}{dt} \right)}{dt},$$

also in Folge der Gleichungen (17c) und (18a):

$$(19a) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{und} \\ \Phi_n = \left[\frac{dx}{dt} \frac{d^2 y}{dt^2} - \frac{dy}{dt} \frac{d^2 x}{dt^2} \right] : \frac{d\sigma}{dt}; \\ \Phi_t = \left[\frac{dy}{dt} \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dx}{dt} \frac{d^2 x}{dt^2} \right] : \frac{d\sigma}{dt}. \end{array} \right.$$

Vermittelst des Winkels $\perp (\Phi x)$ oder μ , den die Richtung der Beschleunigung Φ mit der x -Axe macht, können die Componenten Φ_t und Φ_n auch unter den Formen:

$$(19b) \quad \left\{ \begin{array}{l} \Phi_t = \Phi \cos(\mu - \vartheta) \\ \Phi_n = \Phi \sin(\mu - \vartheta) \end{array} \right.$$

geschrieben werden.

Die Grössen $d^2 y / dt^2$ und $d^2 x / dt^2$ bezeichnen die Componenten der Beschleunigung Φ längs der Axen, also $\Phi \sin \mu$ und $\Phi \cos \mu$; ihre Werthe sind von den Gleichungen (18b) herzuleiten und werden:

$$(19c) \quad \left\{ \begin{array}{l} \Phi \sin \mu = \frac{d^2 y}{dt^2} = -o^2 y_c - \varrho(o + \omega)^2 \sin(\alpha + \psi) + \varrho \omega' \cos(\alpha + \psi), \\ \Phi \cos \mu = \frac{d^2 x}{dt^2} = -o^2 x_c + \varrho(o + \omega)^2 \cos(\alpha + \psi) + \varrho \omega' \sin(\alpha + \psi), \end{array} \right.$$

weil die Winkelgeschwindigkeit o der Schreibfläche constant ist und die Winkelbeschleunigung $d\omega/dt$ vorher (in der Abtheilung I) mit ω' bezeichnet wurde.

Des Weiteren brauchen wir auf diese Frage hier nicht einzugehen.

6. Das Momentancentrum des Curvenpunktes xy . In der

Wirklichkeit entsteht die Muskelcurve durch die beiden gleichzeitigen Bewegungen, die des beweglichen Systems in Folge der Muskelverkürzung und die der Drehung der Schreibfläche. Diese Bewegungen, die um parallele Axen geschehen, können doch durch eine einzige Bewegung des beweglichen Systems ersetzt werden; zu diesem Zwecke nehmen wir an, dass dem zusammengesetzten Systeme, welches das bewegliche System (nebst den damit vereinigten Theilen) und die Schreibfläche zusammen bilden, eine gemeinsame Drehung um die Drehungsaxe der Schreibfläche, mit derselben constanten Winkelgeschwindigkeit ω wie die der Schreibfläche, aber in entgegengesetzter Richtung ertheilt wird, — hierbei vorausgesetzt, dass das bewegliche System jedenfalls in derselben Weise bewegt wird, wie in der Wirklichkeit. Unter diesen Verhältnissen muss die Schreibfläche zwei Drehungen um dieselbe Axe, mit denselben Winkelgeschwindigkeiten ω , aber in entgegengesetzten Richtungen ausführen; diese beiden Bewegungen heben also einander auf, und die Schreibfläche bleibt in Ruhe. Das bewegliche System aber, das die Curve zeichnet, muss gleichzeitig zwei Drehungen um parallele Axen ausführen; die eine Drehung ist die wirkliche in Folge der Muskelverkürzung um die Axe durch den Punkt $x_c y_c$ mit der Winkelgeschwindigkeit ω , die andere geschieht um die Axe durch den Mittelpunkt O , mit der constanten Winkelgeschwindigkeit ω , in entgegengesetzter Richtung aber gegen die Drehung der Schreibfläche. Diese beiden Drehungen um parallele Axen können von einer einzigen Drehung ersetzt werden. Zu diesem Zwecke sei bemerkt, dass in unseren Versuchsanordnungen beide Drehungen in derselben Richtung, und zwar in der der Uhrzeiger geschehen, so lange der aufsteigende Schenkel gezeichnet wird; dagegen wird während der Verzeichnung des herabsteigenden Schenkels die Drehung des beweglichen Systems die entgegengesetzte werden. Im vorigen Falle haben die Winkelgeschwindigkeiten dasselbe Zeichen, und zwar positives, weil ψ in diesem Gebiete der Curve mit der Zeit t zunimmt; im letzteren Falle ist ω positiv, ω aber negativ. In beiden Fällen liegt die Axe der ersetzenden oder der zusammengesetzten Drehung in der Ebene der ursprünglichen Axen, und schneidet also die Gerade S_1 oder ihre Verlängerung; dieser Punkt, in der Figur 4 mit $x_0 y_0$ bezeichnet, ist das Momentancentrum des Curvenpunktes xy , und liegt für die Punkte xy des aufsteigenden Schenkels zwischen O und $x_c y_c$, für die Punkte des herabsteigenden Schenkels aber auf der Verlängerung von S_1 nach der Seite vom Punkte O , weil in unseren Versuchen ω (viele Male, etwa 3 bis 4 Mal) grösser, als der maximale Werth ω annehmen kann, ist, so dass $(\omega - \omega)$ immer positives Zeichen hat.

Um die Lage des Momentancentrums näher zu bestimmen, seien d und δ die Abstände dieses Punktes von bezw. O und $x_c y_c$, so dass

$$(20a) \quad d + \delta = S_1.$$

Die Lage des Punktes ist dann bestimmt vermittelt der Gleichungen:

$$(20b) \quad \frac{o}{\delta} = \frac{\omega}{d} = \frac{o + \omega}{S_1},$$

also:

$$(20c) \quad \delta = \frac{S_1 o}{o + \omega}; \quad d = \frac{S_1 \omega}{o + \omega}; \quad \text{und:} \quad \frac{d}{\delta} = \frac{\omega}{o}.$$

Diese Gleichungen beziehen sich, wie in der Figur 4, auf die Punkte des aufsteigenden Schenkels, gelten aber auch für Punkte des herabsteigenden; dann ist ω negativ zu nehmen, wodurch im vorliegenden Falle δ positiv, aber d negativ wird, weil $(o - \omega)$ hier positiv ist, wie oben erwähnt wurde.

Den Abstand des Momentancentrums vom Punkte xy der Curve bezeichnen wir mit f ; in dem, von den Geraden f , ρ' und δ gebildeten Dreiecke ist der gegen die Seite f stehende Winkel $(\zeta + \psi)$, daher:

$$f^2 = \rho^2 + \delta^2 - 2 \rho \delta \cos(\zeta + \psi),$$

also nach den Gleichungen (20c):

$$(20d) \quad f^2 = \rho^2 + \frac{S_1^2 o^2}{(o + \omega)^2} - \frac{2 \rho S_1 o}{o + \omega} \cos(\zeta + \psi) = \rho^2 + \frac{S_1^2 o^2}{(o + \omega)^2} - \frac{2 \rho o}{o + \omega} k.$$

Die letzte Gleichung giebt weiter, wenn zugleich der Werth von $d\sigma/dt$ in der Gleichung (18d) berücksichtigt wird:

$$(20e) \quad f^2(o + \omega)^2 = \rho^2(o + \omega)^2 + S_1^2 o^2 - 2 \rho o(o + \omega)k = \left(\frac{d\sigma}{dt}\right)^2;$$

also:

$$(20f) \quad f(o + \omega) = \frac{d\sigma}{dt}; \quad \text{und} \quad f(d\alpha + d\psi) = d\sigma.$$

Die drei Bogen: $f d\alpha$, $f d\psi$ und $d\sigma$ entstehen während derselben Zeit dt ; nach der letzten Gleichung kann also das Curvenelement $d\sigma$ betrachtet werden als dadurch entstanden, dass das bewegliche System während der Zeit dt den Winkel $(d\alpha + d\psi)$ um das Momentancentrum gedreht wurde.

Hieraus schon geht hervor, dass die Linie f die Normale der Curve im Punkte xy ist, und dass daher der Winkel $\perp(f\rho')$ zwischen f und ρ' — wie die Figur andeutet — den Werth:

$$(20g) \quad \perp(f\rho') = \frac{\pi}{2} = \theta$$

hat, weil Θ der spitze Winkel zwischen der Tangente und ρ' ist. Dies Resultat steht übrigens in Uebereinstimmung mit einer allgemeinen Regel für Bewegungen dieser Art; in jeder Lage liegt nämlich das eine Ende des Schreibarmes ρ auf der Muskelcurve, das andere auf dem Kreise (S_1); und die betreffende Regel besagt, dass das Momentancentrum im Durchschnittspunkte der Normalen der beiden Curven in den Endpunkten der Geraden ρ liegt.

Die Verhältnisse des Momentancentrums lassen die geometrische Bedeutung der Ausdrücke:

$$\frac{\frac{S_1^2 o}{o + \omega} - \rho k}{\rho h} \quad \text{oder} \quad \frac{\delta - \rho \cos(\zeta + \psi)}{\rho \sin(\zeta + \psi)},$$

bestimmen, welche nach den Gleichungen (16b) und (20c) einander gleich sind und in der Folge hervortreten. Wird nämlich in der Figur 4 eine Senkrechte als vom Punkte xy gegen S_1 gezogen gedacht, so entsteht ein rechtwinkliges Dreieck, worin die Linie f Hypothenuse ist und die anderen Seiten die Werthe:

$$\delta - \rho \cos(\zeta + \psi) \quad \text{und} \quad \rho \sin(\zeta + \psi)$$

haben. In diesem Dreiecke hat weiter der Winkel $\angle (f\delta)$ zwischen f und δ in Folge der Gleichung (20g) den Werth:

$$\angle (f\delta) = \pi - \left[\zeta + \psi + \frac{\pi}{2} - \Theta \right] = \frac{\pi}{2} - (\zeta + \psi - \Theta);$$

der andere spitze Winkel hat also den Werth $(\zeta + \psi - \Theta)$. Hieraus geht hervor, dass:

$$(20h) \quad \operatorname{tg}(\zeta + \psi - \Theta) = \frac{\delta - \rho \cos(\zeta + \psi)}{\rho \sin(\zeta + \psi)} = \frac{\frac{S_1^2 o}{o + \omega} - \rho k}{\rho h}.$$

7. Einige bemerkenswerthe Punkte auf der Muskelcurve. Auf der Muskelcurve finden sich eine Menge Punkte, die durch bestimmte Gleichungen charakterisirt sind; von diesen werden wir hier besonders solche berücksichtigen, deren Bedingungsgleichungen dazu dienen können, den Werth der Winkelbeschleunigung ω' in dem betreffenden Punkte zu berechnen; diese Punkte sind alle dadurch charakterisirt dass in denselben die eine oder die andere der oben definirten Grössen einen maximalen oder minimalen Werth annimmt. Ein solcher Punkt kann schon bei Betrachtung der Curve der Lage nach einigermaßen bestimmt werden, nämlich ein Inflexionspunkt im Anfange der Curve, wo der Tangentenwinkel ϑ einen maximalen Werth annimmt, und den wir daher mit ϑ_{\max} oder kürzer ϑ_{∞} bezeichnen. Bei Messung des Winkels Θ

zeigt sich weiter, dass dieser Winkel auf dem aufsteigenden Schenkel einen maximalen Werth Θ_m annimmt. Schliesslich findet man durch Berechnungen, dass auf dem aufsteigenden Schenkel die oben definirten Grössen f und $(\zeta + \psi - \Theta)$ einen minimalen Werth, bezw. f_m und $[\zeta + \psi - \Theta]_m$, und $d\sigma/dt$ einen maximalen $(d\sigma/dt)_m$ annehmen. Die Bedingungsgleichungen dieser Punkte geben wir in der Folge, die diese Punkte vom Anfange der Curve auf dem aufsteigenden Schenkel einnehmen, an.

Der Inflexionspunkt ϑ_m . Im Inflexionspunkte hat $f''(x)$ den Werth Null; die Bedingungsgleichung ist also nach der Gleichung (17b):

$$f''(x) = \frac{dx}{dt} \frac{d^2y}{dt^2} - \frac{dy}{dt} \frac{d^2x}{dt^2} = 0.$$

Diese Gleichung zeigt, dass in diesem Punkte ϑ und $\text{tg } \vartheta$ einen maximalen oder minimalen Werth annehmen, weil der allgemeine Werth für $\text{tg } \vartheta$, nach der Gleichung (17c), $dy/dt : dx/dt$ ist, und weiter nach der Gleichung (19a), dass hier die Normalcomponente Φ_n der Beschleunigung den Werth Null hat. Diese Bedingungsgleichung kann, vermittelt der Gleichungen (18b) und (19c), unter die Form:

$$\frac{\omega'}{(o + \omega)^2} = \frac{\varrho(o + \omega) - ok}{ok} + \frac{o}{o + \omega} \frac{\left[\frac{S_1^2 o}{o + \omega} - \varrho k \right]}{\varrho k}$$

gebracht werden, also nach den Gleichungen (18f) und (20h):

$$(21a) \quad \frac{\omega'}{(o + \omega)^2} = \text{tg } \Theta + \frac{o}{o + \omega} \text{tg } (\zeta + \psi - \Theta),$$

im Anfange der Curve, wo der Inflexionspunkt gelegen ist, ist nämlich Θ positiv und hat den Werth:

$$\Theta = \vartheta + \alpha + \psi.$$

Vermittelst der letzten Gleichung kann die Lage des betreffenden Punktes bezw. die Grenzen, zwischen welchen derselbe liegt, näher bestimmt werden.

Der Punkt f_m . Damit f einen minimalen Werth annehme, giebt die Gleichung (20d) die Bedingung:

$$-\omega' [S_1^2 o - \varrho(o + \omega)k] + \varrho \omega (o + \omega)^2 h = 0,$$

also nach der Gleichung (20h):

$$(21b) \quad \frac{\omega'}{\omega(o + \omega)} = \frac{1}{\text{tg } (\zeta + \psi - \Theta)} = \text{cotg } (\zeta + \psi - \Theta).$$

Der Punkt $(\zeta + \psi - \Theta)_m$. In Folge der Gleichung (20h) nimmt

der Winkel $(\zeta + \psi - \Theta)$ und seine Tangente einen minimalen Werth $(\zeta + \psi - \Theta)_m$ an, wenn die Bedingungsgleichung:

$$S_1 \omega' o \sin(\zeta + \psi) - \omega(o + \omega)[\rho(o + \omega) - S_1 o \cos(\zeta + \psi)] = 0,$$

oder nach den Gleichungen (16b):

$$\omega' o h - \omega(o + \omega)[\rho(o + \omega) - o k] = 0$$

erfüllt ist, d. h. nach der Gleichung (18f):

$$(21c) \quad \frac{\omega'}{\omega(o + \omega)} = \operatorname{tg} \Theta,$$

weil in dem Gebiete der Curve, wo $(\zeta + \psi - \Theta)_m$ gelegen ist, Θ und $\operatorname{tg} \Theta$ in der Gleichung (18f) positiv sind.

Der Punkt Θ_m liegt auch in dem Theile der Curve, wo Θ und $\operatorname{tg} \Theta$ in der Gleichung (18f) positiv sind; die Bedingungsgleichung für Θ maximum ist daher:

$$\rho \omega' h + \omega[S_1^2 o - \rho'(o + \omega)k] = 0,$$

d. h. nach der Gleichung (20h):

$$(21d) \quad \frac{\omega'}{\omega(o + \omega)} = -\operatorname{tg}(\zeta + \psi - \Theta).$$

Dieser Punkt Θ_m und der vorige $(\zeta + \psi - \Theta)_m$ liegen sehr nahe an einander, Θ_m aber weiter vom Anfange der Curve als $(\zeta + \psi - \Theta)_m$; die Bedingungsgleichungen (21c) und (21d) ergeben aber im Punkte $(\zeta + \psi - \Theta)_m$ für ω' einen positiven und im Punkte Θ_m einen negativen Werth; zwischen diesen beiden Punkten muss also die Winkelbeschleunigung ω' den Werth Null annehmen; hiermit wird die Lage des Curvenpunktes angedeutet, wo die Winkelgeschwindigkeit ω ihren maximalen Werth ω_m annimmt.

Der Punkt $(d\sigma/dt)_m$. Die Bedingung für das Maximum der Geschwindigkeit $d\sigma/dt$ giebt die Gleichung (18a) unter der Form:

$$\frac{dy}{dt} \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dx}{dt} \frac{d^2 x}{dt^2} = 0;$$

nach der Gleichung (19a) ist hiermit gezeigt, dass in diesem Punkte die Tangentialcomponente Φ_t der Beschleunigung den Werth Null hat. Vermittelst der Gleichungen (18b) und (19c) nimmt die obige Bedingungsgleichung folgende Form an:

$$\omega'[\rho(o + \omega) - o k] + \omega o(o + \omega)h = 0,$$

d. h. nach Gleichung (18f), wo im linken Gliede $\operatorname{tg} \Theta$ im vorliegenden Falle positiv ist:

$$(21e) \quad \frac{\omega'}{\omega(\sigma + \omega)} = -\frac{1}{\operatorname{tg} \Theta} = -\cotg \Theta.$$

Der Curvengipfel ψ_m . In diesem Punkte nimmt nicht nur der Drehungswinkel ψ , sondern auch der Radius Vector S einen maximalen Werth an; die Bedingungsgleichung wird daher:

$$(21f) \quad 2\rho, S_1 \omega \sin(\zeta + \psi) = 0; \text{ also: } \omega = 0$$

in Folge des Werthes für S^2 in der Gleichung (16f). Im Punkte ψ_m verändert ω das Zeichen und das bewegliche System fängt an zu fallen.

Die so bestimmten Punkte nehmen verschiedene Stellen auf der Curve ein, und mittelst der Bedingungsgleichungen (21a) und (21e) können die entsprechenden Werthe für ω' berechnet werden; zu diesem Zwecke sind die betreffenden Werthe des Drehungswinkels ψ und des Winkels Θ zu ermitteln bzw. zu messen.

B. Die Schreibfläche wird gedreht, das bewegliche System verschoben.

8. Einleitung. Bei dieser Anordnung der Versuche wird das untere Ende des Muskels und alle Theile des damit vereinigten beweglichen Systems zu jeder Zeit mit derselben Geschwindigkeit in verticaler Richtung bewegt; in Folge dessen kann der Arm, der die Schreibspitze trägt, jede beliebige Lage im Verhältniss zur Schreibfläche haben. In Folgendem wird jedoch von einem bestimmten Schreibarm gesprochen, und — in Uebereinstimmung mit dem, was oben (in Abtheil. II, Zusatz) in Beziehung auf den Zusammenhang eines drehbaren und eines verschobenen Systems gesagt wurde — wird damit eine ideale gerade Linie gemeint, die von der Schreibspitze in horizontaler Richtung ausgeht; bei der Ausführung der Versuche liegt dieser Schreibarm in der Schreibfläche mit der Schreibspitze auf dem Durchmesser der Fläche, der zur Zeit die verticale Lage hat. In Fig. 5, welche die geometrischen Verhältnisse bei dieser Anordnung der Versuche darstellt, und wo die Bezeichnungen dieselbe Bedeutung wie in der Fig. 4 haben, ist die ausgezogene Gerade ρ der Schreibarm in der Anfangslage mit der Schreibspitze im Punkte t_1 des Anfangskreises (S_0); und die Gerade ρ' bezeichnet den Schreibarm zu einer späteren Zeit t , wenn die Schreibspitze in Folge der Verkürzung des Muskels im Curvenpunkte xy , auf dem Radius Vector S sich befindet, der zur selben Zeit t die verticale Lage hat; in dieser Lage ρ' ist der Schreibarm eine Tangente des Kreises (S), der den Radius Vector S als Halbmesser hat.

Wenn bei der Ausführung des Versuches keine Zuckung des Mus-

kels erfolgt ist, so ist der Schreibarm zur Zeit t eine Tangente des Anfangskreises (S_0) in dem Punkte, wo dieser Kreis den Radius Vector S schneidet, weil die letztgenannte Gerade zur selben Zeit t vertical gestellt ist; zugleich ist der Schreibarm in dieser Lage parallel mit der Secundärlage ρ' , weil derselbe in beiden Lagen senkrecht gegen den Radius Vector S steht. Die punktirte Gerade ρ in der Fig. 5 deutet diese Lage des Schreibarmes an. In Folge dieser Verhältnisse wird die Zeit t gemessen von dem Winkel α , den der Radius Vector S des Curvenpunktes xy mit einem beliebigen Halbmesser des Anfangskreises macht; als Ausgangslinie für Messung dieses Winkels α nehmen wir hier, wie im vorigen Falle A, den Halbmesser S_0 nach dem Punkte t_1 .

Das Coordinatensystem ist so gewählt wie im vorigen Falle A; die x -Axe ist also parallel mit dem Schreibarme ρ in der Anfangslage, wenn die Schreibspitze im Punkte t_1 des Anfangskreises liegt; und der Winkel α ist auf der Schreibfläche angegeben durch den Winkel, den der Radius Vector S mit der y -Axe macht, so dass: (22a) $\alpha = \angle (yS)$.

Denselben Winkel α macht auch der Schreibarm in der Secundärlage ρ' mit der negativen x -Axe, wie die Fig. 5 zeigt.

Die Verkürzung s des Muskels zur Zeit t ist auf der Schreibfläche angegeben durch die Erhebung der Schreibspitze zur selben Zeit von der Anfangslage, wird also gemessen vom Abstände des Curvenpunktes xy vom Anfangskreise und hat den (schon in der Abtheil. II, Zusatz) genannten Werth:

$$s = S - S_0; \text{ wovon:}$$

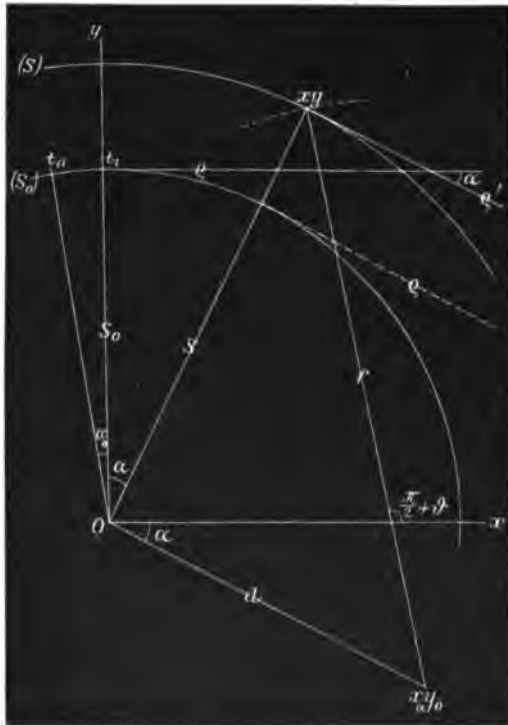


Fig. 5.

$$(28a) \quad \begin{cases} y = \varrho \sin \psi, \\ x = ct + \varrho(1 - \cos \psi). \end{cases}$$

Weiter ist der Winkel Θ zwischen dem Schreibarme in der Secundärlage ϱ' und der Tangente im Curvenpunkte xy bestimmt durch die Gleichung:

$$(28b) \quad \Theta = \vartheta + \psi; \text{ wovon: } \vartheta = \Theta - \psi,$$

wo ϑ und ψ dieselbe Bedeutung haben wie oben.

16. Die Geschwindigkeit $d\sigma/dt$ längs der Curve und die Winkelgeschwindigkeit ω im Punkte xy . In derselben Weise wie oben bei Behandlung der analogen Fälle sind hier:

$$(29a) \quad \begin{cases} \frac{d\sigma}{dt} \sin \vartheta = \frac{dy}{dt} = \varrho \omega \cos \psi \\ \frac{d\sigma}{dt} \cos \vartheta = \frac{dx}{dt} = c + \varrho \omega \sin \psi \end{cases}.$$

Hiervon werden hergeleitet:

$$(29b) \quad \begin{cases} \operatorname{tg} \vartheta = \frac{\varrho \omega \cos \psi}{c + \varrho \omega \sin \psi} \\ \left(\frac{d\sigma}{dt}\right)^2 = c^2 + 2c\varrho\omega \sin \psi + \varrho^2 \omega^2 \end{cases},$$

und mit Hülfe der Gleichung (28b):

$$(29c) \quad \begin{cases} \frac{d\sigma}{dt} \sin (\vartheta + \psi) = \frac{d\sigma}{dt} \sin \Theta = c \sin \psi + \varrho \omega \\ \frac{d\sigma}{dt} \cos (\vartheta + \psi) = \frac{d\sigma}{dt} \cos \Theta = c \cos \psi \\ \operatorname{tg} (\vartheta + \psi) = \operatorname{tg} \Theta = \frac{c \sin \psi + \varrho \omega}{c \cos \psi} \end{cases},$$

und hiervon:

$$(29d) \quad \begin{cases} \omega = \frac{c \sin (\Theta - \psi)}{\varrho \cos \Theta} \\ \frac{d\sigma}{dt} = \frac{c \cos \psi}{\cos \Theta} \end{cases}$$

Vermittelst der letzten beiden Gleichungen kann die Winkelgeschwindigkeit ω und die Geschwindigkeit $d\sigma/dt$ längs der Curve im Punkte xy berechnet werden, wenn die Werthe für ψ und Θ gemessen sind.

17. Die Beschleunigung Φ im Punkte xy . Die Normal- und Tangentialcomponenten Φ_n und Φ_t der Beschleunigung Φ sind in den Gleichungen (19a) unter allgemeinen Formen angegeben; und die

Componenten derselben längs den Axen, von den Gleichungen (29a) hergeleitet, sind:

$$(30) \quad \begin{cases} \Phi \sin \mu = \frac{d^2 y}{dt^2} = \rho [\omega' \cos \psi - \omega^2 \sin \psi] \\ \Phi \cos \mu = \frac{d^2 x}{dt^2} = \rho [\omega' \sin \psi + \omega^2 \cos \psi], \end{cases}$$

wo wieder μ den Winkel $\angle (\Phi x)$ bezeichnet.

18. Das Momentancentrum des Punktes xy . Die beiden Bewegungen, welche die Muskelcurve geben, die Drehung des beweglichen Systems oder des Schreibarmes ρ mit der Winkelgeschwindigkeit ω und die Verschiebung der Schreibfläche in horizontaler Richtung mit der Geschwindigkeit c , können auch bei dieser Versuchs-

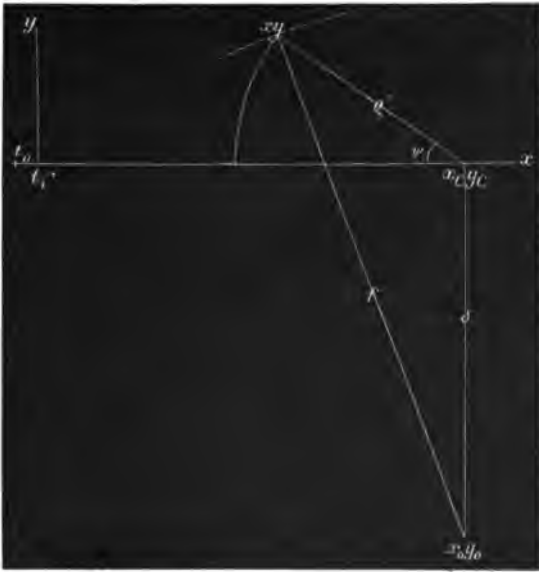


Fig. 6.

anordnung als durch eine einzige Drehung ersetzt gedacht werden, ohne dass die Curve verändert wird. Zu diesem Zwecke ist anzunehmen, dass dem zusammengesetzten Systeme, das vom Schreibarme ρ (nebst den damit vereinigten Theilen) und der Schreibfläche gebildet wird, eine Verschiebung in horizontaler Richtung mit der Geschwindigkeit c der Schreibfläche, aber in entgegengesetzter Richtung, mitgetheilt wird. Dann ist die Schreibfläche als ruhend zu betrachten, und die Muskelcurve von den zwei Bewegungen, die der Schreibarm

unter diesen Verhältnissen ausführt, herzuleiten. Um die letztgenannten Bewegungen zu summiren, sei in Fig. 6 durch den Drehungspunkt $x_c y_c$ des Schreibarmes in der Ebene der Schreibfläche eine senkrechte Linie gezogen. Jeder Punkt dieser Linie wird in Folge der Verschiebung während des Zeitelementes dt in der Richtung der Abscissenaxe x eine Strecke $c dt$ verschoben; und in Folge der Drehung des Schreibarmes um den Punkt $x_c y_c$ wird jede Hälfte dieser Linie, vom letztgenannten Punkte gerechnet, nach entgegengesetzter Richtung gedreht. Bezeichnet daher δ den Abstand eines Punktes dieser Linie vom Drehungspunkte $x_c y_c$, so ist die Verschiebung dieses Punktes in Folge der Drehung $\delta \times d\psi$, weil $d\psi$ die Drehung des Schreibarmes während der Zeit dt ist; auf der einen der beiden Hälften dieser Linie findet sich daher ein Punkt, für welchen die beiden Bewegungen einander gleich, aber entgegengesetzt sind, also:

$$(31a) \quad c dt = \delta \cdot d\psi; \quad \text{oder:} \quad \delta \omega = c; \quad \delta = \frac{c}{\omega};$$

dieser Punkt, in der Fig. 6 mit $x_0 y_0$ bezeichnet, ist das Momentancentrum des Punktes xy der Curve.

Der Abstand f des so bestimmten Punktes $x_0 y_0$ vom Punkte xy hat den Werth:

$$(31b) \quad f^2 = \rho^2 + \delta^2 - 2 \rho \delta \cos \left(\frac{\pi}{2} + \psi \right) = \rho^2 + \frac{c^2}{\omega^2} + \frac{2 c \rho}{\omega} \sin \psi,$$

wovon vermittelt der Gleichung (29b):

$$(31c) \quad \left\{ \begin{array}{l} f^2 \omega^2 = c^2 + 2 c \rho \sin \psi + \rho^2 \omega^2 = \left(\frac{d\sigma}{dt} \right)^2; \\ \text{also:} \\ f \omega = \frac{d\sigma}{dt}; \quad \text{und:} \quad f d\psi = d\sigma; \end{array} \right.$$

das Curvelement $d\sigma$ kann also betrachtet werden als entstanden durch eine Drehung $d\psi$ um das Momentancentrum $x_0 y_0$.

Nach dem, was über die analogen Fälle — in dieser Abtheil. 6 und 12 — gesagt wurde, versteht sich schon, dass die so, der Grösse nach, bestimmte Linie f die Normale der Curve im Punkte xy ist; dass dem so ist, zeigt auch das von den Geraden f , ρ und δ gebildete Dreieck; hieraus geht nämlich, mit Hülfe der Gleichungen (31a), (31c) und (29d) hervor:

$$\sin \angle (f\rho) = \frac{\delta}{f} \sin \left(\frac{\pi}{2} + \psi \right) = \frac{\frac{c \cos \psi}{\frac{d\sigma}{dt}}}{\frac{d\sigma}{dt}} = \cos \Theta = \sin \left(\frac{\pi}{2} - \Theta \right),$$

$$\text{d. h.} \quad \angle (f\rho) = \frac{\pi}{2} - \Theta;$$

der Winkel $\angle (f\delta)$ hat daher den Werth:

$$\angle (f\delta) = \pi - \left(\frac{\pi}{2} + \psi + \frac{\pi}{2} - \Theta \right) = \Theta - \psi = \vartheta,$$

wo die letzte Gleichheit die Gleichung (28 b) ist; also ist:

$$\angle (fx) = \frac{\pi}{2} + \vartheta,$$

und dies ist der Winkel, den die Normale mit der x -Axe bildet, weil ϑ der Winkel der Tangente mit derselben Axe ist.

19. Einige bemerkenswerthe Punkte der Curve.

Der Inflexionspunkt f_m . In Folge der allgemeinen Beziehungen, von welchen oben — diese Abtheil. 7 — die Rede war, ist auch bei dieser Anordnung in einem Inflexionspunkte der Winkel ϑ ein Maximum oder Minimum und der Normalcomponente Φ_n der Beschleunigung gleich Null. Die Bedingungsgleichung dieses Punktes kann vom Werthe für $\operatorname{tg} \vartheta$ in der Gleichung (29 b) hergeleitet werden und unter die Form:

$$(32a) \quad \omega' = \omega^2 \operatorname{tg} \Theta$$

gebracht werden.

Der Punkt f_m . Die Bedingungsgleichung dieses Punktes

$$(32b) \quad \omega' = \omega^2 \operatorname{tg} \vartheta = \omega^2 \operatorname{tg} (\Theta - \psi)$$

geht aus (31 b) hervor.

Der Punkt Θ_m . In diesem Punkte ist:

$$(32c) \quad \omega' = -\frac{\omega^2}{\operatorname{tg} \vartheta} = -\omega^2 \cotg (\Theta - \psi),$$

welche Gleichung aus dem Werthe für $\operatorname{tg} \Theta$ in der Gleichung (29 c) folgt.

Der Punkt $(d\sigma/dt)_m$. In diesem Punkte ist die Tangentialcomponente Φ_t der Beschleunigung Φ gleich Null, wie oben — diese Abtheil. 7 — gefunden wurde, und

$$(32d) \quad \omega' = -\omega^2 \cotg \Theta;$$

diese Gleichung folgt aus dem Werthe für $(d\sigma/dt)^2$ in der Gleichung (29 b).

Der Curvengipfel ψ_m . In diesem Punkte nimmt auch die Ordinate y einen maximalen Werth y_m ; in den Gleichungen (29 a) ist daher:

$$(32e) \quad \frac{dy}{dt} = 0; \text{ also: } \omega = 0,$$

und daher von den Gleichungen (29b):

$$(32f) \quad \vartheta = 0, \quad \text{und} \quad \frac{d\sigma}{dt} = c.$$

In den Punkten: $\vartheta_m, f_m, \Theta_m$ und $(d\sigma/dt)_m$ kann also die Winkelbeschleunigung ω' vermittelt der Gleichungen (32a) ... (32d) berechnet werden, wenn die Lage dieser Punkte (α, ψ) und zugleich der Winkel Θ bestimmt ist.

D. Die Schreibfläche und das bewegliche System werden beide verschoben.

20. Einleitung. Die Verhältnisse bei dieser Versuchsanordnung zeigt die nachstehende Fig. 7, wo die Bezeichnungen dieselbe Bedeutung wie im vorigen Falle haben.

21. Die Coordinaten und die Tangente des Curvenpunktes xy . Wie schon in Abtheil. II, Zusatz, hervorgehoben wurde, haben die Coordinaten xy die Werthe:



Fig. 7.

$$(33a) \quad \begin{cases} y = s \\ x = ct \end{cases},$$

wo s die Verkürzung des Muskels bedeutet.

Weil weiter der

Schreibarm in jeder Secundärlage der x -Axe parallel ist, so wird

$$(33b) \quad \Theta = \vartheta.$$

22. Die Geschwindigkeit $d\sigma/dt$ längs der Curve im Punkte xy . Die Componenten der Geschwindigkeit $d\sigma/dt$ bekommen hier in Folge der Gleichungen (33a) die Werthe:

$$(34a) \quad \begin{cases} \frac{d\sigma}{dt} \sin \vartheta = \frac{dy}{dt} = \frac{ds}{dt} \\ \frac{d\sigma}{dt} \cos \vartheta = \frac{dx}{dt} = c \end{cases},$$

wovon:

$$(34b) \quad \frac{dy}{dt} : \frac{dx}{dt} = \frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \vartheta = \frac{1}{c} \frac{dy}{dt}; \quad \text{und} \quad \left(\frac{d\sigma}{dt}\right)^2 = c^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2;$$

aus diesen Gleichungen folgt weiter:

$$(34c) \quad dx = c dt; \quad \text{also:} \quad \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{1}{c^2} \frac{d^2 y}{dt^2}.$$

23. Die Beschleunigung Φ im Punkte xy wird bestimmt durch die Gleichungen:

$$(35a) \quad \left\{ \begin{array}{l} \Phi \sin \mu = \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{d^2 s}{dt^2} \\ \Phi \cos \mu = \frac{d^2 x}{dt^2} = 0, \end{array} \right.$$

von welchen die letzte Gleichung giebt:

$$(35b) \quad \cos \mu = 0; \quad \mu = \frac{\pi}{2}; \quad \text{also: } \Phi = \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{d^2 s}{dt^2},$$

d. h. die Beschleunigung Φ wirkt in jedem Curvenpunkte in der Richtung der Ordinate oder der Verticalen. Die allgemeinen Gleichungen (19b) für die Tangential- und Normalcomponenten Φ_t und Φ_n werden also hier:

$$(35c) \quad \left\{ \begin{array}{l} \Phi_t = \Phi \cos(\mu - \vartheta) = \Phi \cos\left(\frac{\pi}{2} - \vartheta\right) = \Phi \sin \vartheta = \frac{d^2 y}{dt^2} \sin \vartheta \\ \Phi_n = \Phi \sin(\mu - \vartheta) = \Phi \sin\left(\frac{\pi}{2} - \vartheta\right) = \Phi \cos \vartheta = \frac{d^2 y}{dt^2} \cos \vartheta. \end{array} \right.$$

Das Momentancentrum liegt bei dieser Ordnung der Versuche in unendlicher Entfernung, d. h. es giebt hier keinen solchen Punkt.

24. Einige bemerkenswerthe Punkte der Curve. In einem Inflexionspunkte ist — wie in dieser Abtheil. 7 hervorgehoben wurde — die Normalcomponente Φ_n der Beschleunigung gleich Null, und der Tangentenwinkel ϑ hat einen maximalen¹ (oder minimalen) Werth ϑ_m , also hat hier nach der Gleichung (33b) auch der Winkel θ einen solchen Werth θ_m ; die Curvenpunkte ϑ_m und θ_m fallen also bei dieser Anordnung zusammen. Weil weiter in einem solchen Punkte Φ_n den Werth Null hat, so sind in den Gleichungen (35c):

$$(36a) \quad \Phi_n = 0; \quad \frac{d^2 y}{dt^2} = 0; \quad \text{und daher: } \Phi_t = 0;$$

der andere Faktor, $\cos \vartheta$, im Werthe für Φ_n kann nämlich nicht gleich Null sein, weil der Winkel ϑ nicht ein rechter Winkel ist. Da also auch die Tangentialcomponente Φ_t in diesem Punkte ϑ_m den Werth Null hat, so fällt — nach dem, was in dieser Abtheil. 7 vom Punkte $(d\sigma/dt)_m$ gesagt wurde — auch der letztgenannte Punkt mit dem Punkte ϑ_m zusammen. Weil weiter in dem Punkte ϑ_m der Coefficient $d^2 y/dt^2$ gleich Null ist, so hat hier auch die Geschwindigkeit dy/dt längs der y -Axe den Werth $(dy/dt)_m$.

Die Curvenpunkte ϑ_m , θ_m und $(d\sigma/dt)_m$, die in den oben behandelten Fällen verschiedene Stellen auf den Curven einnehmen, fallen

also bei dieser Anordnung in demselben Punkte zusammen. Im betreffenden Punkte verändert weiter d^2y/dx^2 , und also auch d^2y/dt^2 sein Zeichen; dasselbe macht auch die Beschleunigung Φ in Folge der Gleichung (35b).

Nach der Gleichung (36a) ist die Bedingungsgleichung dieses Punktes ϑ_m von der Geschwindigkeit c der Schreibfläche unabhängig, d. h. dieser Punkt tritt zu derselben Zeit ein, welche Geschwindigkeit die Schreibfläche auch haben mag, und hängt nur davon ab, wie der Muskel sich contrahirt. Bei den oben behandelten Fällen A, B und C hängt dagegen die Lage dieses Punktes nach den Gleichungen (21a), (27a) und (32a) von der Geschwindigkeit der Schreibfläche σ bzw. c ab, und zugleich im Falle A von der Länge des Schreibarmes ρ und der des Halbmessers S_0 des Anfangskreises (weil ζ und Θ davon abhängig sind), im Falle B vom Radius Vector S , also auch vom Abstände vom Mittelpunkt O der Schreibfläche, und im Falle C vom Schreibarme ρ .

Der Curvengipfel ψ_m ; in diesem Punkte nimmt die Ordinate y einen maximalen Werth y_m an; die Gleichungen (34a) geben daher:

$$(36b) \quad \frac{dy}{dt} = \frac{ds}{dt} = 0; \quad \vartheta = 0, \quad \text{und} \quad \frac{d\sigma}{dt} = c.$$

Zusatz. Noch ein Umstand in dieser Frage mag hier berücksichtigt werden; wie in der Abtheilung I Gleichung (2) gefunden wurde, wird bei dieser Anordnung die Muskelkraft Q von der Gleichung:

$$Q = Mg + M \frac{d^2y}{dt^2}$$

bestimmt, weil hier die Ordinate y gleich der Verkürzung s ist. Hieraus geht hervor, dass Q grösser als Mg von der Anfangslage bis zum Inflexionspunkte ϑ_m ist, wo sie den Anfangswerth Q_1 wieder annimmt, weil in diesem Intervalle d^2y/dt^2 positiv ist und im Punkte ϑ_m den Werth Null annimmt. Vom Punkte ϑ_m gegen den Curvengipfel hat d^2y/dt^2 negativen Werth und Q ist also kleiner als Mg oder Q_1 in der Anfangslage des Systems.

Schon im Jahre 1850, beim Verzeichnen der ersten Muskelcurven, wurden bekanntlich diese Verhältnisse der Muskelkraft von v. Helmholtz erkannt; die Curven waren nämlich nach dieser Methode D gezeichnet,¹ und die erwähnten Resultate in Bezug auf die Muskelkraft

¹ Zwar war die Schreibfläche nicht eben, sondern ein um ihre in verticaler Richtung gestellte Axe rotirender Cylinder; bei solcher Anordnung wird jedoch die Curve gleich der auf einer ebenen Schreibfläche gezeichneten, weil die Schreibspitze, während der Verkürzung des Muskels, in jeder Lage auf derselben Verticale verbleibt.

gingen unmittelbar bei Betrachtung der Curven hervor, weil diese Curven im Anfange ihre convexe, sodann ihre concave Seite gegen die Abscissenaxe wenden, und daher der Coëfficient $d^2 y / dx^2$, und also auch $d^2 y / dt^2$ — der bei dieser Anordnung dem vorigen proportional ist — in jenem Theile der Curve positives, in diesem negatives Zeichen und an der Uebergangsstelle, im Inflexionspunkte, den Werth Null hat.

Der Inflexionspunkt \mathcal{S}_m und der Curvenpunkt, wo die Muskelkraft Q ihren anfänglichen Werth Q_1 wieder annimmt, fallen also bei dieser Anordnung D zusammen, weil die Bedingungsgleichungen für beide Punkte dieselben sind; bei den Anordnungen A, B und C dagegen nehmen beide Punkte verschiedene Stellen auf der Curve ein; im Falle B ist nämlich die Bedingung für Q gleich Q_1 dieselbe wie im Falle D, nämlich die Gleichung (4a), oder nach der Gleichung (22b):

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = 0;$$

die Bedingung des Inflexionspunktes aber ist die Gleichung (27a). In den Fällen A und C wieder ist die Gleichung (14b):

$$1 - \cos \psi = \frac{T + T_0}{M g a} \omega'$$

die Bedingung für den Punkt, wo Q gleich Q_1 ist; für den Inflexionspunkt aber gelten die Gleichungen (21a) bzw. (32a). — Das bei der Anordnung D gefundene Verhältniss der Muskelkraft ist also nicht eine allgemeine Eigenschaft der Muskelkurven, wie oft und auch bei Versuchen die Muskelcurven zu analysiren angenommen ist.

IV. Die Apparate und die Messungen.

In Bezug auf die Apparate, die für die hier vorliegenden Aufgaben zur Anwendung gekommen sind, und in Bezug auf die Ausführung der Messungen verweisen wir auf die von Dr. Clopatt gegebene Darstellung;¹ nur einige Veränderungen in den Apparaten, die, seitdem Dr. Clopatt seine Untersuchungen ausführte, vorgenommen sind, mögen hier kurz berührt werden.

Die Unterlage, auf welcher die Glasscheibe im Apparate für Ausführung der Messungen ruht, hindert an einigen Stellen die Beleuchtung im Mikroskope bei der Messung des Winkels ψ . Um die Messungen auch in diesem Gebiete in Continuität mit dem bestimmten Winkelintervalle $\Delta \alpha$ fortsetzen zu können, ist das erwähnte Mikroskop

¹ A. Clopatt, *Dies Archiv*. Bd. X. S. 250 bis 257.

mit einem von Herrn Optiker C. Zeiss in Jena verfertigten Vertical-Illuminator versehen.

Weiter sind im Rotationsapparate unter der Drehungsaxe, nahe dem Ende der Axe, wo die Glasscheibe befestigt wird, Frictionsrollen angebracht; das andere Ende der Axe bewegt sich um eine Spitze.

V. Bestimmung der Constanten.

Als Maasseinheiten wenden wir im Folgenden Centimeter, Gramm und Secunden an; um grosse Zahlen zu vermeiden, geben wir jedoch die Arbeit einer Kraft (z. B. die der Muskelkraft) nicht in Erg an, sondern in $g \times \text{Erg}$, also in Gramm-Centimeter, und eine Kraft (z. B. die Muskelkraft) nicht in Dyn, sondern in $g \times \text{Dyn}$, also in Gramm, wo g , wie in der Abtheil. I., die Beschleunigung in Folge der Schwere ist, und an diesem Orte (Helsingfors) den Werth 981.9 cm hat.

Bei Ausführung von Curvenanalysen müssen nach der vorigen Darstellung folgende Constanten bekannt sein oder bestimmt werden: die Winkelgeschwindigkeit ω der Schreibfläche, der Halbmesser S_0 des Anfangskreises der Muskelcurve, die Länge ρ des Schreibarmes, die Halbmesser R und r der Rollen, von welchen in Abtheil. I. 7 und I. 6 die Rede war, das Trägheitsmoment T und das Drehungsmoment Ma (in der Anfangslage des Systems) der mit der Drehungsaxe unbeweglich vereinigten Theile, schliesslich das Trägheitsmoment T_0 und das Moment mr des Lothes.

1. Die Winkelgeschwindigkeit ω der Schreibfläche wird bestimmt mittelst einer Stimmgabelcurve; zu diesem Zwecke wird der Winkel α^0 , der einer gewissen Anzahl n (z. B. 20 Stück) von Wellenlängen der Stimmgabelcurve unter der Muskelcurve entspricht, an der Scala für Messung des Winkels α gemessen. Für die Berechnung ist dann:

$$\alpha^0 = \omega t; \text{ also: } \omega = \frac{\alpha^0}{t}; \quad t = n\tau,$$

wo τ die (ganze) Periode der Stimmgabel ist, und in unseren Versuchen den Werth $\frac{1}{128}$ Secunde hat; also ist:

$$(A) \quad \omega = \frac{\alpha^0}{n \times \frac{1}{128}}.$$

Hier ist α^0 ursprünglich in Winkelgraden und Minuten angegeben, muss aber bei den Anwendungen in linearem Maasse, also in Centimetern, ausgedrückt werden, um auch die Winkelgeschwindigkeit ω in Centimetern zu messen.

Bezeichnet weiter $\Delta\alpha$ das Intervall, für welches die Messungen ausgeführt sind, und Δt die entsprechende Zeit, so ist:

$$(B) \quad \Delta\alpha = \rho \Delta t, \quad \text{und:} \quad \Delta t = \frac{\Delta\alpha}{\rho},$$

eine Gleichung, die bei Ausführung der Interpolationen immer zur Anwendung kommt; auch $\Delta\alpha$ muss, wie α^0 , in Bogenlänge für den Halbmesser 1 Centimeter ausgedrückt werden.

2. Der Schreibarm ρ muss in allen drehbaren beweglichen Systemen genau denselben Werth, 20^{cm}, haben, wie der Arm im Messungsapparate, der das Mikroskop für Messung des Winkels ψ trägt.

3. Der Halbmesser S_0 des Anfangskreises wird abgelesen an der Scala, die am Schlitten des Messungsapparates befestigt ist, und wird angegeben in Centimetern und $\frac{1}{1000}$ Theilen vom Centimeter.

4. Die Halbmesser R und r der Rollen im beweglichen Systeme können berechnet werden vom Umfange $2\pi R$ bzw. $2\pi r$ der Rolle in der Tiefe der Furche, längs welcher der zu der Rolle gehörige Draht bewegt wird; diese Umfänge können mit einem feinen Drahte (z. B. geglühtem Eisendrahte) gemessen werden.

5. Das Trägheitsmoment T und das Moment Ma , der mit der Drehungsaxe unbeweglich vereinigten Theile können vermittelt eines Pendelversuches und einer Wägung bestimmt werden. Für Ausführung des Pendelversuches wird dem Myographion eine solche Lage gegeben, dass das bewegliche System nach unten hängt und dessen Drehungsaxe horizontal gestellt ist. Hat das Moment Ma einen so grossen Werth, dass das System in dieser Lage eine Reihe von kleinen Schwingungen macht, so ist die Anzahl derselben während bestimmter Zeit zu beobachten, um davon die (ganze) Pendelperiode τ des Systems zu berechnen, dann ist:

$$(C) \quad \frac{T}{Mga} = \left(\frac{\tau}{2\pi}\right)^2; \quad \text{oder:} \quad \frac{T}{g} = \left[\frac{\tau}{2\pi}\right]^2 \cdot Ma.$$

Weiter ist das Massenmoment Ma durch Wägen zu bestimmen, und daraus der Werth T/g nach Gleichung (C) zu berechnen. Nachdem dem Myographion die gewöhnliche Lage gegeben ist, geschieht wohl dieses Wägen am bequemsten und sichersten vermittelt laufender Gewichte, eines grösseren, das, nahe der Drehungsaxe gestellt, dem Schreibarme eine beinahe horizontale Lage giebt, und eines kleineren (etwa 1 bis 5^g), womit die letztgenannte Lage vollständig hergestellt wird. Zu diesem Zwecke werden die Gewichte mit Coconfäden versehen, um an den Arm des Systems, der die Schreibspitze trägt, oder an dessen Fortsetzung auf der anderen Seite der Drehungsaxe

gehängt werden zu können; weiter ist der erwähnte Arm mit einem Strich für jeden Centimeter, gerechnet von der (idealen) Drehungsaxe, versehen, um die Länge der Momentarme der Gewichte ablesen zu können; nur für das kleine laufende Gewicht ist dann eine Messung des Armes zwischen zwei naheliegenden Centimeterstrichen auszuführen. Einige Versuche, in dieser Weise ausgeführt, geben für das gesuchte Moment Ma in kurzer Zeit übereinstimmende Werthe.

Ist aber a und also das Moment Ma gleich Null; so dass das System in jeder Lage in Ruhe verbleibt — was bei der Anordnung A. b in Abtheil. I. 12 der Fall ist —, oder ist das Moment so klein, dass das System zu wenig Schwingungen macht, um die Pendelperiode desselben bestimmen zu können, so muss das Verfahren abgeändert werden. Nach den oben erwähnten Principien haben wir dann folgendes Verfahren angewandt: das System wird mit einem (Messing-) Stabe belastet, der die Form eines rechtwinkligen Prismas und an dem einen Ende ein cylindrisches Loch hat, um genau an der Axe des Systems vermittelt einer Mutter befestigt zu werden (zum letztgenannten Zwecke dient die kleine Rolle mit dem Halbmesser r , an welcher das Loth mg hängt, wovon in Abtheil. I. 6 die Rede war). Dieser Stab hat eine Länge l von genau 22 cm; seine Breite, Dicke und Masse seien bezw. b , c und μ . Das cylindrische Loch steht senkrecht gegen die Flächen lb und hat also c zur Höhe; der Mittelpunkt seiner kreisförmigen Basis liegt auf 1 und 21 cm von den Enden des Stabes, und seine Axe liegt in gleichem Abstände von den Flächen lc . Der Stab wird so befestigt, dass seine Richtung parallel mit dem Schreibarme ρ ist, und dass also die Massenmittelpunkte des beweglichen Systems und des Stabes in derselben Ebene durch die Drehungsaxe liegen. Für die Pendelbewegung des in solcher Weise zusammengesetzten Systems gilt dann die Gleichung:

$$(D) \quad \frac{T + T'}{[Ma + M'a']g} = \left[\frac{\tau'}{2\pi} \right]^2; \text{ oder: } \frac{T + T'}{g} = \left[\frac{\tau'}{2\pi} \right]^2 (Ma + M'a'),$$

wenn nämlich T' das Trägheitsmoment, $M'a'$ das Drehungsmoment des Stabes und τ' die Pendelperiode des zusammengesetzten Systems bezeichnen. — Diese Periode τ' und das Moment $(Ma + M'a')$ sind hier ganz wie im vorigen Falle zu bestimmen, und dann ist das Trägheitsmoment

$$(T + T') \quad \text{oder} \quad \frac{T + T'}{g}$$

nach der Gleichung (D) zu berechnen.

Sind in solcher Weise die Werthe für $(Ma + M'a')$ und $(T + T')/g$ festgestellt, so sind noch einige Rechnungen nöthig, um von den

Dimensionen und der Masse des Stabes die Grössen $M'a'$ und T'/g und also von den erstgenannten Werthen die Constanten Ma und T/g zu berechnen. Zu diesem Zwecke sei bemerkt, dass das Volumen des cylindrischen Loches $\pi \varrho_1^2 c$ ist, wenn ϱ_1 den Halbmesser seiner Endfläche bezeichnet; das Volumen des Stabes ist also $(lb - \pi \varrho_1^2 c)$ oder $[lb - \pi \varrho_1^2]c$; weil μ die Masse des Stabes bezeichnet, so ist die Volumeinheit oder die Dichte des Stabes

$$(Ea) \quad = \frac{\mu}{[lb - \pi \varrho_1^2]c}.$$

Hieraus geht hervor, dass, wenn das cylindrische Loch mit derselben Substanz wie der Stab gefüllt wäre, so würde die Masse des cylindrischen Loches

$$(Eb) \quad = \frac{\mu}{[lb - \pi \varrho_1^2]c} \cdot \pi \varrho_1^2 c = \frac{\mu \pi \varrho_1^2}{lb - \pi \varrho_1^2},$$

sein, und also die Masse des Stabes

$$(Ec) \quad = \mu + \frac{\mu \pi \varrho_1^2}{lb - \pi \varrho_1^2} = \frac{\mu lb}{lb - \pi \varrho_1^2}.$$

Mit Hülfe der letzten drei Beziehungen (Ea), (Eb) und (Ec) können die Grössen $M'a'$ und T'/g bestimmt werden. Für die Berechnung der Grösse $M'a'$ bemerken wir, dass bei dem Pendelversuche die beiden obersten Centimeter des Stabes einander equilibriren, weil sie auf entgegengesetzten Seiten der Drehungsaxe gelegen sind, und weil das Loch in deren Mitte symmetrisch im Verhältniss zur Drehungsaxe ist; die Massenmomente in diesen Theilen des Stabes heben daher einander auf. Das Massenmoment $M'a'$ wird also nur von den übrigen Theilen des Stabes, die alle auf derselben Seite der Drehungsaxe gelegen sind und das Volumen $20.bc$ einnehmen, hervorgerufen. Die Masse in diesem Volumen ist also in Folge der Gleichung (Ea):

$$20bc \cdot \frac{\mu}{(lb - \pi \varrho_1^2)c} \quad \text{oder:} \quad \frac{20\mu b}{lb - \pi \varrho_1^2};$$

und da der Massenmittelpunkt des Volumens $20.bc$ in einer Entfernung von 11^{cm} von der Drehungsaxe liegt, so ist:

$$(F) \quad M'a' = \frac{20\mu b}{lb - \pi \varrho_1^2} \cdot 11 = 220 \frac{\mu b}{lb - \pi \varrho_1^2} \text{ g-cm.}$$

Das Trägheitsmoment T' wieder ist gleich dem Trägheitsmomente des Stabes, vermindert um das Trägheitsmoment des Loches, wenn angenommen wird, dass das Loch mit einem Stoffe von derselben Beschaffenheit wie die des Stabes gefüllt ist; alle Trägheitsmomente sind

hier in Beziehung zur Drehungsaxe zu nehmen, und die beiden letzteren haben in Folge der Gleichungen (E b) und (E c) die Werthe:

$$\frac{\mu lb}{lb - \pi \varrho_1^2} \left[\frac{r^2 + b^2}{3.4} + 10^2 \right] \text{gr}(\text{cm})^2, \text{ und: } \frac{\mu \pi \varrho_1^2}{lb - \pi \varrho_1^2} \cdot \frac{\varrho_1^2}{2} \text{gr}(\text{cm})^2;$$

wenn das Loch gefüllt ist, liegt nämlich der Massenmittelpunkt des Stabes in einem Abstände von 10^{cm} von der Drehungsaxe; und diese Axe fällt mit der Axe des cylindrischen Loches zusammen. Also ist:

$$(G) \quad \frac{T'}{g} = \left[\frac{\mu lb}{lb - \pi \varrho_1^2} \left(\frac{r^2 + b^2}{3.4} + 10^2 \right) - \frac{\mu \pi \varrho_1^2}{lb - \pi \varrho_1^2} \cdot \frac{\varrho_1^2}{2} \right] \frac{\text{gr}(\text{cm})^2}{g}.$$

Hier sei noch bemerkt, dass die auf solche Weise mittelst Berechnung bestimmten Werthe für $M'a'$ und T'/g durch einen einfachen Pendelversuch controlirt werden können; zu diesem Zwecke ist das Loch mit einem Kork (oder einem anderen leichten Stoffe) zu füllen, und eine feine Nadel durch die Mitte des Korkes zu führen. Um die horizontal gestellte Nadel, die hier dieselbe Lage wie die Drehungsaxe bei dem vorigen Pendelversuche hat, lässt man dann den Stab kleine Pendelschwingungen machen, um die Periode τ'' zu bestimmen; dann ist, weil die Trägheitsmomente des Korkes und der Nadel hier ignorirt werden können,

$$(H) \quad \frac{T'}{M'a'g} = \left(\frac{\tau''}{2\pi} \right)^2;$$

der so gefundene Werth für $T'/M'a'g$ kann mit dem von T'/g und $M'a'$ berechneten Werthe verglichen werden.

6. Das Trägheitsmoment T_0 oder T_0/g des Lothes. Das Loth mit der Masse m hat in unseren Versuchen die Form eines geraden Kreiscylinders und ist so gestellt, dass der Draht (zur Rolle mit dem Halbmesser r) mit der Richtung der Cylinderaxe zusammenfällt. Sein Trägheitsmoment in Bezug auf eine Axe, die durch seinen Massenmittelpunkt, parallel mit der Drehungsaxe des beweglichen Systems, geht, ist:

$$\frac{m}{3.4} (3 \varrho_2^2 + h^2) \text{gr}(\text{cm})^2,$$

wenn h die Höhe des Cylinders und ϱ_2 der Halbmesser seiner Endfläche ist. Davon, weil dies Loth als gelegen in dem Abstände r von der Drehungsaxe zu betrachten ist:

$$(I) \quad \frac{T_0}{g} = \left[\frac{m}{3.4} (3 \varrho_2^2 + h^2) + m r^2 \right] \frac{\text{gr}(\text{cm})^2}{g}.$$

VI. Bestimmung der Differentialcoefficienten ω und ω' .

Wie schon in Abtheilung I hervorgehoben wurde, können die Coefficienten $d\psi/dt$ und $d^2\psi/dt^2$, d. h. die Winkelgeschwindigkeit ω und die Winkelbeschleunigung ω' mittelst numerischer Interpolation bestimmt werden, wenn der Drehungswinkel ψ für gleiche Zeitintervalle Δt gemessen wird. Hierbei kann die letztgenannte Grösse beliebig gewählt werden; durch Veränderung des Intervalles Δt oder — nach der Gleichung (B) in der vorigen Abtheilung — $\Delta\alpha$ können also die Grössen ω und ω' in einem bestimmten Punkte von verschiedenen Primärbeobachtungen berechnet werden, nur der Werth für ψ in dem betreffenden Punkte wird jedenfalls bei der Berechnung zu Grunde gelegt. Alle diese Werthe, z. B. mit den Intervallen $\Delta\alpha$ gleich 2° , 4° , 6° oder 8° , müssen mit einander übereinstimmen.

In der Abtheil. III ergab sich weiter, dass bei der Anordnung A — die einzige, die wir hier berücksichtigen — die Grössen ω und ω' auch von den Werthen, die ψ und Θ im betreffenden Punkte annehmen, und von den Constanten ρ , S_0 und σ der Curve berechnet werden können, nämlich ω für jeden Punkt nach der Gleichung (18g), und ω' zwar nicht für jeden Punkt, aber doch nach den Gleichungen (21a)...(21e) für einige Punkte, die im Allgemeinen verschiedene Stellen auf der Muskelcurve einnehmen. Um die so nach verschiedenen Methoden und mit verschiedenen Primärbeobachtungen gefundenen Werthe für ω und ω' mit einander zu vergleichen, sind die Resultate der Messungen und Berechnungen für eine Curve in der nachstehenden Tab. I zusammengestellt (s. S. 372 und 373).

Die Curve wurde vom *Musculus gracilis minor* (nach der Benennung von Gaupp in der neuen Auflage von Ecker's Anatomie des Frosches) von einem curarisirten Thiere gezeichnet; die Reizung geschah mit einem Oeffnungsinductionsschlage, der durch die Länge des Muskels geleitet wurde und maximale Zuckung hervorrief. Die Constanten der Curve waren: $\rho = 20$; $S_0 = 18.33$; $\sigma = 4.858$, alle in Centimetern; das Winkelintervall $\Delta\alpha$, für welches die Messungen von ψ und Θ ausgeführt wurden, war ein Grad, wie die erste Columnne mit der Ueberschrift α in der Tabelle andeutet, was einer Zeit von 0.0036 Secunde (in abgerundeter Zahl) entspricht; der Werth α ist hier vom Augenblicke t_0 , als die Reizung geschah, angegeben; die Zeit t_1 des Anfanges der Zuckung traf $3^\circ 21'$, oder im Zeitmaass 0.012 Secunde später ein. In dem beweglichen Systeme war das Massenmoment Ma gleich Null; die Constanten des Systems sind ohne Einfluss für die Berechnungen von ω und ω' , und können daher hier

Tabelle I.

α	ψ	ω				Θ		ω'				Bemerkungen	
		berechnet				beob.	ber. von ω	berechnet					
		von Θ	verm. Intervall von	2°	4°			6°	verm. Intervall von	2°	4°		6°
6° 49'	0° 8' 37"	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19.61 von f_{\min} $\left\{ \begin{array}{l} 3.80 \text{ von} \\ (\zeta + \psi - \Theta)_{\min} \\ -4.58 \text{ von } \Theta_{\max} \end{array} \right.$
7 49	0 6 11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
8 49	0 9 36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
9 49	0 14 19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10 49	0 20 5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
11 49	0 27 19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
12 49	0 35 30	0.727	0.713	—	—	9° 45'	9° 32' 10"	—	—	—	—	—	
13 49	0 45 22	0.831	0.855	—	—	11 9	11 24 10	35.47	—	—	—	—	
14 49	0 56 40	0.986	0.987	—	—	18 10	18 10 30	38.94	32.38	—	—	—	
15 49	1 9 32	1.074	1.085	—	—	14 22	14 29 50	28.05	80.80	—	—	—	
16 49	1 28 47	1.192	1.195	—	—	15 54	15 56 0	25.06	27.44	—	—	—	
17 49	1 38 45	1.276	1.289	—	—	17 2	17 9 0	28.22	25.58	—	—	—	
18 49	1 55 25	1.365	1.368	—	—	18 12	17 55 20	22.68	19.69	20.63	—	—	
19 49	2 12 49	1.463	1.449	—	—	19 28	19 5 10	15.27	16.49	16.24	—	—	
20 49	2 30 58	1.484	1.492	—	—	19 52	19 54 0	11.18	12.07	11.31	—	—	
21 49	2 49 38	1.525	1.524	—	—	20 29	20 27 50	6.29	6.30	7.12	—	—	
22 49	3 8 32	1.550	1.548	—	—	20 55	20 42 30	2.99	2.17	8.02	—	—	
23 49	3 27 35	1.538	1.539	—	—	20 55	20 59 30	1.75	1.77	0.12	—	—	
24 49	3 46 37	1.515	1.525	—	—	20 54	21 2 50	7.13	5.29	4.31	—	—	
25 49	4 5 15	1.500	1.502	—	—	20 55	21 0 50	8.00	7.47	7.21	—	—	
26 49	4 23 33	1.478	—	—	—	20 48	20 52 30	—	9.39	9.28	—	—	
27 49	4 41 33	1.435	1.436	—	—	20 35	20 40 10	—	10.37	11.03	—	—	
28 49	4 59 8	1.401	—	—	—	20 35	20 40 10	—	—	12.24	12.33	—	
29 49	5 16 0	1.352	1.347	—	—	20 8	20 8 10	—	14.06	13.88	13.25	—	
30 49	5 32 18	1.306	—	—	—	19 44	19 39 20	—	—	13.97	13.85	—	
31 49	5 48 0	1.244	1.245	—	—	19 18	19 19 10	—	14.07	14.15	14.41	—	
32 49	6 8 4	1.195	—	—	—	18 54	19 0 0	—	—	14.05	14.41	—	
33 49	6 17 30	1.145	1.144	—	—	18 34	18 31 40	—	15.36	14.94	15.10	—	

[illegible]

übergangen werden. Die Columnen mit den Ueberschriften ψ und $\Theta_{\text{beob.}}$ in der Tabelle nebst den schon angegebenen Constanten der Curve geben die Data an, auf welche die Resultate der Berechnungen in den übrigen Columnen sich stützen.

Die Columnen mit der Ueberschrift: „ ω berechnet vermittelst der Intervalle von 2° , 4° , 6° “ zeigen bis auf den zweiten Decimal die beste Uebereinstimmung mit einander, obschon, wie gesagt, diese Resultate auf sehr verschiedene Beobachtungen in Bezug auf die Werthe von ψ sich stützen. Auch ω in der dritten Columnne, wo „ ω berechnet von Θ “ angegeben ist, stimmt ziemlich gut zu den durch Interpolation gefundenen Werthen; wird aber umgekehrt Θ nach der Gleichung (18f), von dem vermittelst Interpolation gefundenen Werthe für ω , berechnet, und dieser Werth, $\Theta_{\text{ber.}}$, mit dem beobachteten Werthe, $\Theta_{\text{beob.}}$, — in der 8. und 7. Columnne der Tabelle — verglichen, so treten auch grössere Unterschiede hervor. Der Winkel Θ kann nämlich nur für solche Punkte genauer gemessen werden, wo die eigentliche Curve — oder die Berührungsstelle zwischen der Schreibspitze und der Schreibfläche — von zwei parallelen Linien begrenzt im Mikroskope erscheint, doch auch an solchen Stellen — wie wiederholte Messungen zeigen — mit Differenzen von einigen (etwa 4) Minuten. Diese begrenzenden Linien der Curve sind aber hier und da undeutlich; die Ursache dazu ist wohl darin zu suchen, dass während des Verzeichnens der Curve ein wenig Russ, der an der Schreibspitze haften bleibt, die genannten Grenzen der Curve verwischt, so dass die genaue Richtung der Curve nicht im Mikroskope herauszulesen ist; im nächsten Augenblicke kann der Russ fortfallen und die begrenzenden Linien der Curve können wieder hervortreten. An solchen Stellen, wo die Richtung der Curve nicht deutlich hervortritt, wird auch die Messung des Drehungswinkels ψ nicht sicher; die geringe Breite der Curve macht jedoch, dass bei Einstellung des Fadenkreuzes des Mikroskopes auf der Mitte des vorliegenden weissen Feldes der Fehler nur in Secunden zu rechnen ist, während dagegen der Fehler bei der Messung von Θ sich auf viele Minuten belaufen kann. In Folge dieser Verhältnisse ist die Bestimmung von ω vermittelst Interpolation der Bestimmung vermittelst der beobachteten Werthe für ψ und Θ vorzuziehen.

Was weiter die vermittelst Interpolation für ω' gefundenen Werthe betrifft, so zeigt die Tabelle, dass mit den Intervallen $\Delta\alpha$ von 2° , 4° und 6° nicht so nahe mit einander übereinstimmende Werthe für ω' wie für ω herauskommen, und dass die Uebereinstimmung mit den zwei letztgenannten Intervallen am besten ist. Mit den so gefundenen Werthen für ω' sind noch die von den Bedingungsgleichungen (21a)

...(21e) für ϑ_m , f_m , $(\zeta + \psi - \Theta)_m$, Θ_m und $(d\sigma/dt)_m$ berechneten zu vergleichen. Von diesen Punkten liegt jedoch der erstgenannte, ϑ_m , so nahe dem Anfange der Curve, dass ω' für denselben Punkt vermittelst Interpolation nicht bestimmt werden kann (die Interpolation muss nämlich mit Zeilendifferenzen ausgeführt werden; Diagonalinterpolation kann nicht angewandt werden, weil die Serien oder Reihen für Berechnung von ω und ω' hier zu wenig convergiren). Der Punkt ϑ_m muss also ausser Rechnung gelassen werden; die Lagen für die Punkte f_m , $(\zeta + \psi - \Theta)_m$ und $(d\sigma/dt)_m$ giebt die folgende Tab. II an, wo $d\sigma/dt$ nach der Gleichung (18g), f nach (20f) und $(\zeta + \psi - \Theta)$ von den darin eingehenden Grössen berechnet sind; die Berechnungen sind für jeden Grad gemacht; in der Mitte der Tabelle sind die gesuchten maximalen oder minimalen Werthe und zugleich drei Werthe in der nächsten Umgebung auf beiden Seiten derselben angegeben. Die mit den so gefundenen Lagen berechneten Werthe für ω' sind in der letzten Columne der Tab. I eingeführt.

Tabelle II.

f_{\min}		$(\zeta + \psi - \Theta)_{\min}$		$\left(\frac{d\sigma}{dt}\right)_{\max}$	
α	f	α	$\zeta + \psi - \Theta$	α	$\frac{d\sigma}{dt}$
16° 49'	15.71	19° 49'	25° 15' 7"	35° 49'	104.73
17 49	15.65	20 49	25 9 16	36 49	104.77
18 49	15.61	21 49	24 50 56	37 49	104.80
19 49	15.56	22 49	24 43 50	38 49	104.96
20 49	15.63	23 49	25 2 53	39 49	104.76
21 49	15.68	24 49	25 22 55	40 49	104.78
22 49	15.75	25 49	25 40 32	41 49	104.59

Bei Vergleichung der so gefundenen Werthe für ω' mit den durch Interpolation gefundenen ist daran festzuhalten, dass die Lagen der betreffenden Punkte vermittelst der Messungen nicht genau herauskommen, sondern nur zwei Grenzen erhalten werden, zwischen welchen die Punkte gelegen sind (z. B. für $(d\sigma/dt)_m$ zeigt die Tabelle II nur, dass dieser Punkt zwischen $\alpha = 37^\circ 49'$ und $\alpha = 39^\circ 49'$ gelegen ist). Unter diesen Verhältnissen ist wohl die Uebereinstimmung der nach ganz verschiedenen Methoden berechneten Werthe für ω' befriedigend.

Der Punkt Θ_m ist bisher übergangen, weil dessen Lage von den Messungen an dieser Curve — wie Tabelle I zeigt — nicht deutlicher

hervortritt, als dass derselbe zwischen $\alpha = 22^\circ 49'$ und $\alpha = 25^\circ 49'$ liegt; wird daher ω' nach der Gleichung (21d) berechnet, so wird, für die Lage $\alpha = 24^\circ 49'$, $\omega' = -4.58 \text{ cm}$, was auch so ziemlich mit dem vermittelst 6° Intervall gefundenen übereinstimmt.

Die genannten Verhältnisse zusammen zeigen weiter, dass die Curvenanalyse ganz unabhängig vom Winkel Θ nebst den Constanten ϱ und S_0 durchgeführt werden kann; die Messungen beziehen sich also nur auf die Bestimmung der Lage α , ψ bzw. t , ψ für gleiche Zeitintervalle; das Intervall ist für Curven, die — wie die hier behandelte — mit einer Winkelgeschwindigkeit σ von etwa 5 cm gezeichnet sind, zu etwa 2 Grad zu nehmen; die Interpolationen werden aber am besten mit grossem Intervall, z. B. 4° oder 8° , ausgeführt, damit die Beobachtungsfehler in den Werthen für α und ψ nicht zu grossen Einfluss auf die Resultate ausüben; durch Verschiebung des Ausgangspunktes können dann auch die zwischenliegenden Werthe bestimmt werden (wie auch bei der Berechnung der Tabelle I, bei Anwendung von 4° oder 6° Intervall, verfahren worden ist). Nur im ersten Anfange der Curve muss das kleinste Intervall — 2° — angewandt werden, um die Werthe für ω und ω' dem Anfange näher zu bekommen. Hiermit wird die Untersuchungsmethode wesentlich vereinfacht, weil die Messung des Winkels Θ sehr mühsam ist; hiermit gewinnt auch die Methode an Sicherheit, weil ψ bis auf einige Secunden, Θ aber — wie schon gesagt wurde — besten Falles bis auf einige Minuten bestimmt werden kann.

VII. Die Muskelkraft während der Verkürzung des Muskels.

Die vorige Darstellung bezieht sich überall auf die Verhältnisse am aufsteigenden Schenkel der Muskelcurve; die Lage (α , ψ) der Curvenpunkte des herabsteigenden Schenkels kann aber ganz in derselben Weise, wie am aufsteigenden, gemessen werden; solche Messungen müssen auch, wenigstens um drei Intervalle, geschehen, um die Coefficienten ω und ω' bis zum Curvengipfel vermittelst Interpolation zu berechnen. Werden die Messungen von α , ψ noch weiter gegen das Ende der Curve fortgesetzt, so können die Coefficienten ω und ω , d. h. die Winkelgeschwindigkeit und die Winkelbeschleunigung beim Herabfallen des Systems gegen die Anfangslage auch für Punkte des herabsteigenden Schenkels berechnet werden. Hier entsteht daher die Frage, welche Bedeutung die so bestimmten Grössen ψ , ω und ω' in Punkten des herabsteigenden Schenkels für die vorliegenden Aufgaben haben. Einige hierher gehörende Fragen können unmittelbar beantwortet

werden; z. B. da ψ die Lage des Systems in Beziehung zur Anfangslage desselben ist, so bestimmt wieder $R\psi$ die Verkürzung des Muskels in der betreffenden Lage (α, ψ), in derselben Weise wie am aufsteigenden Schenkel nach der Gleichung (12) — selbstverständlich unter der Voraussetzung, dass keine Schleuderung des Systems eingetreten ist, so dass der Draht zwischen dem Muskel und dem Systeme gespannt ist. In Folge dessen haben auch die Grössen $R\omega$ und $R\omega'$ hier dieselbe Bedeutung wie am aufsteigenden Schenkel; und da weiter ω , also $d\psi/dt$, am herabsteigenden Schenkel negatives Zeichen hat, so ist hiermit angedeutet, dass die Verkürzung $R\psi$ für zunehmende Zeit nicht zu-, sondern abnimmt, d. h. dass die Verlängerung des Muskels mit der Zeit zunimmt.

Ebenso geht hieraus unmittelbar hervor, dass der Ausdruck: $[Masin\psi + mr\psi]g$ in der Gleichung (13a) die Arbeit, die das System in der betreffenden Lage im Verhältniss zur Anfangslage enthält, und dass

$$(T + T_0) \frac{\omega^2}{2}$$

die Grösse der Bewegung des Systems in derselben Lage bestimmt.

Die Gleichungen (12) und (13a) haben also ganz dieselbe Bedeutung und Anwendung auf dem auf- und herabsteigenden Schenkel der Curve oder während des ganzen Verkürzungsprocesses. Wenn ebenso behauptet wird, dass die Gleichung (11) auch die Kraft bestimmt, womit der Muskel während seiner Verlängerung auf das bewegliche System einwirkt, so muss zuerst die Existenz einer solchen Kraft nachgewiesen sein. Ein Beweis in dieser Beziehung wurde auch — im Jahre 1868 — von Marey¹ gegeben; nachdem nämlich Marey gefunden hatte, „que la période de descente . . . (des Schreibarmes beim Verzeichnen einer Muskelcurve) est beaucoup plus longue que celle qui produirait la chute du pois soulevé“, schloss er, „que pendant cette . . . période le levier ne descend pas librement, mais qu'il est encore retenu par une force contractile . . . assez forte . . . pour ralentir la descente du levier“.

Einige Beobachtungen von Kühne — im Jahre 1859 — in Bezug auf die Verlängerung des Muskels nach einer Contraction leiten zu einer ähnlichen Folgerung; Kühne's Untersuchung und Resultat sind in folgenden Worten² zusammengefasst: „Ein Muskel kehrt . . .

¹ E. J. Marey, *Du mouvement dans les fonctions de la vie*. Paris 1868. S. 332 bis 333.

² W. Kühne, Unters. über Beweg. u. Veränd. d. contr. Substanz. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* Jahrg. 1859. S. 815 bis 816.

ohne das Zuthun äusserer Kräfte, nach einer einmaligen Contraction nie wieder in seinen vorigen Zustand zurück. . . . Man könnte in vielen Fällen denken, dass seine Ausdehnung durch die Reibung verhindert werde, welche er auf einer festen Unterlage erfährt. Legt man aber einen Sartorius auf Quecksilber und lässt man ihn dort durch einen einzigen Inductionsschlag in seiner ganzen Ausdehnung zucken, so wird derselbe sich nach dem Aufhören der Reizung zwar um ein Geringes wieder ausdehnen, ohne künstliche Dehnung aber fortwährend den Anschein eines schwach tetanisirten Muskels behalten. Ruht dagegen der Muskel nicht, sondern hängt er senkrecht herab, so scheint er von selbst aus dem contrahirten Zustande in den erschlafften zurück-zusinken. Es ist aber klar, dass er in diesem Falle nur seine frühere Gestalt verlor durch die eigene Schwere.

Die neue Gestalt, die der Muskel nach diesen Beobachtungen von Kühne annimmt, wenn keine Kräfte von aussen einwirken, muss als eine neue Gleichgewichtslage angesehen werden; jede von aussen wirkende Kraft, die diese Gestalt zu ändern strebt, ruft daher eine elastische Kraft, die in entgegengesetzter Richtung wirkt, hervor. In unseren Versuchen ist die Schwere des Muskels und die des Systems eine solche von aussen wirkende Kraft, unter deren Einfluss die Länge des Muskels zunimmt; daher entsteht eine elastische Kraft, die nach oben wirkt und das System, in seinem Bestreben in Folge der Schwere zu fallen, mehr oder weniger hindert oder retardirt. Durch die Untersuchung von Kühne wird also die von Marey erwiesene retardirende Kraft in den nächsten Zusammenhang mit der elastischen Kraft gestellt, die bei der Verlängerung des Muskels in Folge der Schwere entsteht.

Diese retardirende Kraft, deren Existenz also als bewiesen zu betrachten ist, geht vom Muskel aus und wirkt in einer der Schwere entgegengesetzten Richtung, verhält sich also in dieser Beziehung wie die Muskelkraft während der Contraction. Sie ist daher auch als Muskelkraft zu betrachten und kann hier auch mit Q bezeichnet werden: wenn zugleich angegeben wird, auf welchen Theil der Muskelcurve oder des Verkürzungsprocesses diese Kraft sich bezieht, kann hier kein Missverständniss entstehen.

Die nächste Frage wird hier sein, wie die Grösse dieser Kraft zur Zeit t , oder bei der Lage (α, ψ) zu bestimmen ist, wenn die Versuchsanordnung die in Abtheil. I. 2 angewandte wird. In derselben Weise wie dort müssen dann die Kraftmomente und die Winkelbeschleunigung ω' die Gleichung (5) oder, genauer bestimmt, die Gleichung (8) erfüllen. Ist noch dazu, wie in unseren Versuchen, der

Momentarm der Muskelkraft constant, so bestimmt die Gleichung (11) die Muskelkraft Q . Die letztgenannte Gleichung bestimmt also die Grösse der Muskelkraft für jeden Curvenpunkt, und auch in jenen Theilen der Curve, für welche die von Schwann im Jahre 1837 gebrauchte und seitdem in verschiedener Weise vervollkommnete Methode nicht anwendbar ist, nämlich von der Anfangslage, wo die Muskelkraft den Werth Q_1 , bestimmt vermittelt der Gleichung (14a), hat bis zu dem Punkte (nahe dem Anfange der Curve), wo die Muskelkraft ihren maximalen Werth Q_m annimmt, und von dem Punkte Q_0 (ein wenig vor dem Curvengipfel), wo dieselbe — wie Schwann im Jahre 1837 kennen lernte — gleich Null wird, bis zum Ende der Curve. Auch in diesen beiden Intervallen findet selbstverständlich ein continuirlicher Uebergang in den Werthen, welche die Muskelkraft annimmt, statt, worüber die Curvenanalyse nähere Auskunft geben kann.

Die Verhältnisse der Muskelkraft in verschiedenen Gebieten der Muskelcurve — unter Voraussetzung, dass der Momentarm R derselben constant gehalten wird — lassen sich deutlicher übersehen, wenn die Gleichung (11) vermittelt der Gleichung (14a) unter die Form:

$$(A) \quad Q = Q_1 + K$$

gebracht wird, wo also:

$$(B) \quad Q_1 = \frac{(Ma + mr)}{R} g; \quad \text{und:} \quad K = \frac{(T + T_0) \omega' - M a g (1 - \cos \psi)}{R}.$$

Hier bezeichnet K den — positiven oder negativen — Zuwachs, den der anfängliche Werth Q_1 der Muskelkraft zur Zeit t oder in der Lage (α, ψ) bekommen hat.

Unter Voraussetzung solcher Versuchsanordnung, dass das System die ganze Zeit an der Bewegung des Muskels theilnimmt, sind hier — mit Beziehung auf die Werthe, die K und damit Q während der Verkürzung des Muskels annehmen — folgende drei Fälle zu unterscheiden:

1. K ist positiv und also: $Q > Q_1$ tritt im Anfange der Curve ein; in der Anfangslage hat nämlich K [nach der Gleichung (B)] den Werth Null, und nacher einen positiven Werth, so lange

$$(T + T_0) \omega' > M a g (1 - \cos \psi),$$

d. h. wie die Gleichung (14b) schon gelehrt hat, bis K gleich Null wird und also die Muskelkraft Q ihren anfänglichen Werth Q_1 wiederannimmt. Die Lage des letztgenannten Curvenpunktes kann auch näher bestimmt werden; ist nämlich a gleich Null, also die Versuchsanordnung A. b) in Abtheil. I. 12 realisirt, so wird $K = 0$ und $Q = Q_1$,

wenn $\omega' = 0$ ist, d. h. wenn ω ihren maximalen Werth ω_m annimmt, wie schon im Zusammenhange mit der Gleichung (15b) hervorgehoben wurde; ist weiter $a > 0$, so tritt diese Lage früher oder näher dem Anfange ein, während ω' noch einen positiven Werth hat. — Zwischen diesen Grenzen: Q gleich Q_1 , ist weiter Q grösser als Q_1 und nimmt in einem Punkte einen maximalen Werth Q_m an.

2. K ist negativ, ihr absoluter Werth nimmt bis Q_1 zu und macht also $Q = 0$; den letztgenannten Curven- oder Zeitpunkt bezeichnen wir mit Q_0 . Dass die Muskelkraft während der Contraction bis Null abnimmt, ist bekanntlich von Schwann entdeckt; dass jedoch unter gewissen Verhältnissen der absolute Werth von K nicht vollständig den Werth Q_1 erreicht, sondern nur demselben sich nähert, um dann wieder zuzunehmen, werden Curvenanalysen weiter unten zeigen; diesen minimalen Werth für Q bezeichnen wir in der Folge mit Q_0 .

3. K ist negativ, und ihr absoluter Werth nimmt bis Null ab und kann danach wieder positiv werden; während dieses Verlaufes nähert sich Q immer mehr seinem anfänglichen Werthe Q_1 .

Die verschiedenen Werthe, die K und damit Q annehmen, sind in erster Linie von der Kraftcomponente:

$$\frac{T + T_0}{R} \omega'$$

in Folge der Winkelbeschleunigung ω' abhängig; der Winkel ψ ist nämlich klein, und in Folge dessen der Ausdruck: $(1 - \cos \psi)$ in der Gleichung (B) von Null nicht sehr verschieden; die Grösse:

$$\frac{T + T_0}{R} \omega'$$

dagegen variirt zwischen weiten Grenzen; diese Grösse hat im Anfange der Curve positiven Werth, dann negativen und kann gegen das Ende der Curve wieder positiven Werth annehmen.

VIII. Muskelcurven nach wiederholten Reizungen.

1. Die Versuche. Die Reizungen wurden mit *Musc. gracilis* major, in derselben Weise aber wie in dem in Abtheil. VI angeführten Versuche ausgeführt. Vier Curven, die hier der Zeitfolge nach Curve I, II, III und IV bezeichnet werden, wurden aufgezo-gen; eben vor dem Verzeichnen der Curven II, III und IV wurde der Muskel mit bezw. 60, 120 und 200 Inductionsschlägen, deren Schliessungs- und Oeffnungsströme Zuckungen hervorriefen, zum vollständigen Tetanus ge-

reizt. Während der ganzen Zeit der Versuche war der Muskel mit ein wenig mehr als 10^8 belastet.

Beim Betrachten der Curven zeigte die Curve III und noch mehr die Curve IV die gewöhnlichen Zeichen der Ermüdung, verminderte Höhe und vergrösserte Länge; die Messungen hier unten zeigen auch, dass das latente Reizungsstadium t_{10} in den später gezeichneten Curven verlängert worden war. Zu höherem Grade von Ermüdung wurden jedoch die Versuche nicht fortgesetzt, um sehr niedrige Curven, deren Analyse grössere Schwierigkeit macht, zu vermeiden.

2. Die Constanten. Das bewegliche System war drehbar, mit constantem Momentarme und mit Loth versehen. Der Träger (von Aluminium) der Schreibspitze erstreckte sich in gleicher Länge und in gleichen Dimensionen nach beiden Seiten der Drehungsaxe des Systems, und trug auch an den beiden Enden eine ähnliche Schreibspitze (nebst dazu gehörigen Bügeln oder Rahmen). Die Rolle mit dem Halbmesser R war von Hartgummi, bestand aber nur aus zwei durchlöcherten Sektoren (von etwa 40° Oeffnungswinkel), die auf entgegengesetzten Seiten der Drehungsaxe gelegen waren. Diese Anordnungen bezweckten, dass die mit der Axe unbeweglich vereinigten Theile in jeder Lage des Systems equilibriert wären, und dass also die Versuchsanordnung, von welcher in der Abtheilung I. 12), A. b) die Rede war, realisiert und doch das Trägheitsmoment gering wäre. Bei näherer Untersuchung des Systems zeigte sich, dass eine solche Anordnung jedoch nicht vollständig erreicht war; die unbeweglich mit der Axe vereinigten Theile hatten nämlich ein Moment Ma von etwa 0.8 s-cm ; bei den Berechnungen waren daher die allgemeinen Gleichungen (11)...(14e) anzuwenden.

In Folge der eben genannten Ursache wurden die Constanten Ma und T/g des Systems mittelst des Stabes — von dem in der Abtheil. V. 5) die Rede war — bestimmt. Die zu diesem Zwecke ausgeführten drei Versuche ergaben: die Pendelperiode τ' (in der Gleichung (D), Abtheil. V) des zusammengesetzten Systems — durch Beobachtung der Zeit für 30 ganze Schwingungen in zehn Versuchen — zu $0''.86066$ mit einem mittleren Fehler von $0''.00054$; die Grösse des Momentes $[Ma + M'a]$ des zusammengesetzten Systems — durch vier Versuche mit laufenden Gewichten — zu 256.2782 s-cm ; und die Pendelperiode τ'' in der Gleichung (H) derselben Abtheil. — durch fünf Versuche, in welchen die Zeit während 100 Schwingungen beobachtet wurde — zu $0''.7516$.

Die zwei ersten Versuche geben hiermit (nach der Gleichung (D) in Abtheil. V) $(T + T')/g$ gleich 4.8086 .

Für Berechnung von $M'a'$ und T'/g waren die Constanten des Stabes:

$$\left. \begin{aligned} l &= 22.00 \text{ cm} \\ b &= \frac{4.995}{5} \text{ " } \\ c &= \frac{1.715}{12} \text{ " } \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \rho_1 &= 0.355 \text{ cm}; \\ \mu &= 25.086 \text{ g}; \end{aligned}$$

daher (nach der Gleichung (F) in Abtheil. V) $M'a'$ gleich: 255.4620 g-cm , also: Ma gleich: 0.8162 g-cm , und hiermit (nach der Gleichung (G) derselben Abtheilung) T/g gleich: $3.6532 \text{ g}(\text{cm})^2/g$; also T/g gleich: $1.1554 \text{ g}(\text{cm})^2/g$.

Die berechneten Werthe für T/g und $M'a'$ geben $T/M'a'g$ gleich: 0.014300 . Dieselbe Grösse berechnet von dem Controlversuche, also von dem dritten der oben genannten Versuche, war: 0.014309 .

Das Loth schliesslich hatte die Constanten:

$$\left. \begin{aligned} m &= 75.59 \text{ g} \\ h &= 2.75 \text{ cm} \\ \rho^2 &= 0.88 \text{ " } \end{aligned} \right\} r = 0.540 \text{ cm}.$$

Hieraus geht hervor: mr gleich: 40.8186 g-cm und (nach der Gleichung (I) in Abtheil. V) T_0/g gleich: $0.0859 \text{ g}(\text{cm})^2/g$.

Der Momentarm R der Muskelkraft hatte den Werth: 4.008 cm . Von den solcher Weise bestimmten Constanten Ma , mr , T/g , T_0/g und R sind die Logarithmen der Coefficienten in den Gleichungen (11) ... (13a) zu berechnen; diese Gleichungen sind doch erst mit der Beschleunigung g der Schwere zu dividiren, um die Muskelkraft nebst ihren Componenten in der Gleichung (11) und die Energie des Systems nebst ihren Summanden in der Gleichung (13a) in Gramm bezw. Gramm-Centimeter zu messen. In der folgenden Tabelle sind links die für diese Rechnungen nöthigen sechs Logarithmen und rechts die Constanten in den Gleichungen (11) ... (14c) (in abgerundeten Zahlen) angegeben:

$$\left. \begin{aligned} \text{Log } Ma &= 0.9117966-1 \\ \text{Log } mr &= 1.6108581 \\ \text{Log } \frac{T+T_0}{2g} &= 0.7928216-1 \\ \text{Log } \frac{Ma}{R} &= 0.3088689-1 \\ \text{Log } \frac{mr}{R} &= 1.0079304 \\ \text{Log } \frac{T+T_0}{Rg} &= 0.4909239-1 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} Ma &= 0.8 \text{ g-cm} \\ mr &= 40.8 \text{ g-cm} \\ \frac{T+T_0}{g} &= 1.2 \frac{\text{g}(\text{cm})^2}{g} \\ \frac{Ma}{R} &= 0.2 \text{ g} \\ \frac{mr}{R} &= 10.2 \text{ g} \\ \frac{Ma+mr}{R} &= 10.4 \text{ g} \end{aligned}$$

Für Berechnung der Winkelgeschwindigkeit ω der Schreibfläche (nach der Gleichung (A) in Abtheil. V) ergaben die Messungen, dass 5×9 oder 45 (ganze) Wellenlängen der Zeitcurve unter der längsten Muskelcurve, der Curve IV, einen Winkel α^0 von $117^0 22'$ (und fünf Wellenlängen einem Winkel zwischen $13^0 2'$ und $13^0 3'$) entsprachen. Davon wird:

$$\text{Log. } \omega = 0.765\,419\,5; \text{ also: } \omega = 5.83 \text{ cm.}$$

3. Die Messungen des Winkels ψ und des ihm entsprechenden Winkels α wurden ausgeführt mit einem Intervalle von 4^0 vom Anfange der Curven bis zu dem Intervalle, wo die herabsteigenden Schenkel die bezw. Anfangskreise schnitten. Hierbei wurde mit dem Mikroskope (für Messung des Winkels ψ) die Curve I mangelhaft befunden, so dass die Messungen mit dem betreffenden Intervalle nicht über die ganze Curve bewerkstelligt werden konnten; diese Curve ist daher hier ganz weggelassen. Für die Curven II und III wurde die erste Messung mit dem Intervalle von 4^0 bei α gleich $4^0 54'$ von t_0 gemacht, für die Curve IV aber bei α gleich $8^0 54'$, weil diese Curve in der erstgenannten Lage sich noch nicht von ihrem Anfangskreise erhoben hatte. Zugleich wurden Messungen von α und ψ mit dem Intervalle von 2^0 und mit den genannten Ausgangspunkten für die Curven II und IV an deren Anfange und Ende, für die Curve III nur an ihrem Anfange gemacht.

4. Die Berechnungen. Die folgenden drei Tabellen — für die Curven II, III und IV — geben in den zwei ersten Verticalcolumnen, mit den Ueberschriften α und ψ , die beobachteten Werthe für diese Grössen, und in den folgenden Columnen die berechneten Werthe für ω , ω' u. s. w., wie die Ueberschriften andeuten (s. die Tabellen auf den folgenden Seiten).

In diesen Tabellen sind die Werthe für ω und die davon hergeleiteten Werthe für:

$$\frac{T + T_0}{g} \frac{\omega^2}{2} \quad \text{und} \quad \frac{E}{g}$$

mit zwei Decimalen angegeben, wenn die Werthe für ω vermittelt Interpolation mit dem Intervalle von 2^0 berechnet sind; dagegen sind dieselben Grössen mit drei Decimalen angegeben, wenn ω vermittelt Interpolation mit 4^0 Intervall bestimmt ist. Damit deuten die Tabellen unmittelbar an, in welcher Weise die Berechnung von ω und den davon hergeleiteten Grössen gemacht ist, obgleich die Werthe für ω , vermittelt 2^0 und 4^0 Intervall bestimmt, in derselben Columnne eingeführt sind. Aus demselben Grunde sind ebenso die Werthe von ω' und die davon berechneten Werthe für:

$$\frac{T + T_0}{Rg} \omega' \quad \text{und} \quad \frac{Q}{g}$$

in ganzen Zahlen angegeben, wenn ω' mittelst 2° Intervall berechnet ist, dagegen mit einem Decimal, wenn die Berechnung von ω' auf Interpolation mit 4° Intervall sich stützt.

In den Tabellen sind weiter alle Summanden eingeführt, welche die Energie des Systems [E/g in Gramm-Centimetern] zusammensetzen, für die Muskelkraft [Q/g in Gramm] dagegen ist nur die Kraftcomponente:

$$\frac{T + T_0}{Rg} \omega'$$

angegeben, weil von ihren übrigen Componenten mr/R einen constanten Werth (von $10 \cdot 2^\circ$), und $Ma \cos \psi / R$ einen beinahe constanten Werth (von $0 \cdot 2^\circ$) hat.

Nachdem alle die eben genannten Berechnungen gemacht waren, haben wir noch die Werthe für ω und ω' mittelst des Intervalles von 8° (doch nur mit einem Ausgangspunkte für jede Curve) hergeleitet, um die so gewonnenen Resultate mit denen mittelst 4° Intervall gefundenen auch in diesen Curven zu vergleichen; die so für ω und ω' gefundenen Werthe sind in verschiedenen Columnen angegeben. Die Vergleichung der beiden, mit 4° und 8° Intervall berechneten Werthe zeigt hier ganz dasselbe wie die Vergleichung der mit 4° und 6° gewonnenen Resultate in der oben (Abtheil. VI) analysirten Curve, und auch dass grössere Unterschiede in ω' in der Umgebung von ω_m , wo ω' ihr Zeichen verändert, hervortreten.

5. Kriterien für die Schleuderung des Systems. Für die Beurtheilung der physiologischen Verhältnisse wäre es hier vor Allem von Gewicht, entscheiden zu können, ob wirklich das bewegliche System während des ganzen Verkürzungsprocesses an der Bewegung des Muskels bezw. an der seines freien Endes Theil genommen hat. Die Gleichung (14e) liefert wohl in dieser Beziehung das Kriterium, dass dann die Energie E/g des Systems continuirlich bis zum Curven Gipfel ψ_m wachsen muss; der Zuwachs, den die Tabellen in der Nähe von ψ_m zeigen, ist aber zu gering, um hier die Frage mit Sicherheit zu entscheiden. (Die Werthe für ψ_m sind im Zusammenhange mit den Tabellen angegeben, und die Lage von ψ_m ist in jeder Curve im nächstfolgenden Intervalle von der Stelle, wo ψ_m in der letzten Columnen der Tabellen — mit der Ueberschrift Bemerkung — eingeschrieben ist.)

Hier kann aber auch ein anderes Kriterium angewandt werden: im Falle einer Schleuderung des Systems hört die Muskelkraft auf,

auf das System einzuwirken, d. h. Q ist gleich Null und die Gleichung (14d) muss verificirt werden. Dies ist aber entschieden nicht der Fall in den Curven III und IV, wie die Columnen für Q/g zeigen; für diese Curven ist also eine Schleuderung ausgeschlossen. Für die Curve II dagegen könnte ein solches Verhältniss angenommen werden, weil Q/g ein wenig vor dem Curvengipfel, in der Lage α gleich $44^{\circ} 54'$ nach der Tabelle, sehr klein ist, den Werth von nur 0.1^s hat, und weil weiter mit dieser Deutung mittelst der Gleichung (14d) ω' den Werth: -33.53^{cm} annimmt, was als übereinstimmend mit den in den Tabellen angegebenen Werthen: -33.16 und -33.05 betrachtet werden kann. Diese Uebereinstimmung ist jedoch nicht besonders genau; weiter unten betrachten wir auch diese Frage in anderer Weise.

6. Regelmässigkeiten in den Werthen von ω und ω' . Weil der Winkel ψ eine Function der Zeit und ω der erste Differentialcoefficient $d\psi/dt$ desselben ist, so ist ω gleich Null in dem Curvengipfel, wo ψ den maximalen Werth ψ_m annimmt, wie übrigens schon in der Abtheil. III. 7 nach der Gleichung (21f) hervor ging; weiter ist ω positiv auf dem aufsteigenden, und negativ auf dem herabsteigenden Schenkel, weil ψ mit der Zeit in jenem Falle zu-, in diesem abnimmt. Hieraus wieder folgt, dass ω auf dem aufsteigenden Schenkel einen maximalen Werth: ω_m , und dass $-\omega$ auf dem herabsteigenden einen maximalen Werth: $-\omega_m$ annimmt, weil ω in beiden Fällen ihren Werth zwischen den Grenzen Null und Null verändert. Diese Curven- oder Zeitpunkte ω_m und $-\omega_m$ treten in den vorliegenden drei Curven hervor, und sind, dem Intervalle nach, in der letzten Columnne der Tabellen angegeben.

Weil weiter, ganz in derselben Weise, ω' der Differentialcoefficient $d\omega/dt$ von ω ist, so hat diese Grösse den Werth Null in den Punkten ω_m und $-\omega_m$, und ist im Intervalle zwischen diesen Punkten negativ, ausserhalb dieses Intervalles dagegen positiv. Hieraus folgt wieder, dass ω' ein positives Maximum ω'_m zwischen dem Anfange der Curve und ω_m hat, und ein negatives Maximum, $-\omega'_m$, zwischen ω_m und $-\omega_m$ annimmt. Die Lage dieser Punkte (ω'_m nahe dem Curvenanfange und $-\omega'_m$ ein wenig vor dem Curvengipfel ψ_m) ist in der letzten Columnne der Tabellen, dem Intervalle nach, angedeutet. Die Tabelle der Curve III und besonders die der Curve IV zeigen weiter, dass ω' vom Punkte $-\omega_m$ gegen das Ende der Curve positiv ist und mit der Zeit zunimmt; ihr weiteres Verhalten zeigen die Tabellen nicht, weil die Messungen nur zu dem Intervalle, wo der Schnittpunkt der Curve mit dem Anfangskreise liegt, fortgesetzt waren.

Diese Regelmässigkeiten im Verlaufe der Werthe für ω und ω' treten in jeder Curve, die in derselben Weise wie die betreffenden gezeichnet ist, hervor; die Lagen dieser Punkte aber wechseln mit den Constanten des Systems und dem Zustande des Muskels. Was übrigens die Bestimmung der Lagen dieser Punkte betrifft, so treten dieselben, je nach dem Intervalle wo sie liegen, unmittelbar bei Berechnung der Interpolationstabellen für Bestimmung der Werthe für ω und ω' hervor; genauere Bestimmung dieser Lagen ist für die hier vorliegenden Zwecke nicht nöthig.

Die Bedeutung der so bestimmten Zeit- oder Curvenpunkte ω_m' , ω_m , $-\omega_m'$ und $-\omega_m$ liegt unter Anderem darin, dass sie in einem gewissen Zusammenhange mit den Specialwerthen stehen, die die Muskelkraft während der Zuckung annimmt, wie schon die Verhältnisse bei der Anordnung A. b in der Abtheil. I. 12 gezeigt haben und wie hier unten des Näheren hervorgeht.

7. Jede von den drei Tabellen zeigt, dass die Muskelkraft Q/g erst bis zu einem maximalen Werthe $(Q/g)_m$, nahe dem Curvenanfang, zunimmt und so bis zu einem minimalen Werthe Q_0/g , nahe vor dem Curvengipfel ψ_m , abnimmt; der maximale Werth $(Q/g)_m$ ist grösser (34, 29 und 21^s bezw. in Curve II, III und IV), und der minimale Werth Q_0/g ist kleiner (0.1, 1.8 und 4.4^s der Zeitfolge der Curven nach), je weniger der Muskel ermüdet ist. In diesem Verlaufe vom anfänglichen Werthe Q_1/g zum minimalen Werthe Q_0/g nimmt die Muskelkraft in einem Punkte den anfänglichen Werth Q_1/g wieder an, und dieser Punkt wird um so mehr gegen den Curvengipfel verschoben, je mehr der Muskel ermüdet ist (in den drei Curven ist nämlich die Lage dieses Punktes von t_0 etwa 20°, 24° und 28°). Die Tabellen zeigen, dass die Lage für Q_0/g mit der Ermüdung ebenso verschoben wird.

Während des weiteren Verlaufes vom Punkte Q_0/g gegen das Ende der Curve nimmt die Muskelkraft wieder zu und bekommt auf dem herabsteigenden Schenkel noch ein Mal den anfänglichen Werth Q_1/g ; auch dieser Punkt wird durch die Ermüdung weiter (von etwa 90° zu 96° bezw. 100°) vom Anfange verschoben. Von diesem Werthe Q_1/g wächst die Muskelkraft mit der Zeit noch mehr wie die Curve III und besonders die Curve IV zeigt); dass auch hier ein maximaler Werth $(Q/g)_m$ eintreten muss, versteht sich, weil die Muskelkraft nach der Zuckung den anfänglichen Werth wieder nimmt; aus schon (in dieser Abtheil. 6) genanntem Grunde tritt jedoch ein solcher Werth in den Tabellen nicht hervor.

Die Tabellen zeigen weiter, dass die Lagen für die so definirten

Werthe: Q_m/g , Q_1/g , Q_0/g und Q_1/g mit den oben gefundenen Punkten bezw. ω'_m , ω_m , $-\omega'_m$ und $-\omega_m$ nahe zusammenfallen; dies Verhältniss hängt davon ab, dass im beweglichen Systeme die Constante Ma im Verhältniss zur Constante mr sehr klein ist; wäre nämlich Ma gleich Null, so würden diese Lagen genau mit einander zusammenfallen, wie schon die Darstellung in Abtheil. I. 12. A. b) gelehrt hat.

Das Verhalten der Muskelkraft beim Uebergange vom anfänglichen Werthe Q_1/g zum Q_0/g steht in Uebereinstimmung mit dem Schwann'schen Gesetze, wenn nur beachtet wird, dass dies Gesetz für nichtermüdete Muskeln gilt. Aus diesem Grunde scheint es richtiger und mehr übereinstimmend mit den Verhältnissen der Curven III und IV, auch die Curve II als von einem, wenn auch nur wenig ermüdeten Muskel gezeichnet zu betrachten (der Muskel war ja auch, eben vor dem Verzeichnen der Curve II, zum vollständigen Tetanus durch 60 Inductionsschläge gereizt). Dann ist in dieser Curve Q_0/g nicht gleich Null, sondern — wie die Tabelle andeutet — nur sehr klein; und für den Curvenpunkt Q_0/g oder $-\omega'_m$ gilt nicht die Gleichung (14d), wie in dieser Abtheil. 5 bei der Berechnung von ω' vorausgesetzt wurde.

Untersuchungen über die bei einer einzelnen momentanen Hautreizung auftretenden zwei stechenden Empfindungen.¹

Von

Torsten Thunberg.

(Aus dem physiologischen Laboratorium der Universität Upsala.)

1. Einleitung. Auftreten zweier Stichsensationen bei einer einzigen Reizung. Aeusserlicher stechender und innerlicher dumpfer Schmerz.

Im Folgenden soll über einige Studien berichtet werden, die sich auf das Phänomen beziehen, dass eine einzige thermische, mechanische oder elektrische Reizung der Haut unter gewissen Bedingungen nicht eine einzige, sondern zwei stechende Empfindungen hervorruft.

Veranlasst wurden diese Untersuchungen durch eine Beobachtung, die ich bei der Anwendung von ihrer Stärke nach gut abgepassten thermischen Hautreizen — verschieden dicke, auf derselben Temperatur gehaltene Silberlamellen wurden mit der Haut in Berührung gebracht (1. S. 537)² — machte, nämlich der, dass dabei manchmal zwei stechende Empfindungen auftraten.

Ich habe später gefunden, dass eine ähnliche Beobachtung bei Anwendung thermischer Hautreize schon von Rosenbach (4. S. 338) gemacht worden ist, welcher fand, dass, wenn die Haut genügende Zeit hindurch mit einem hinreichend warmen Gegenstande erwärmt wird, die Schmerzempfindung zwei bis drei Mal an- und abschwilt. Die Ursache hierfür sieht er darin, dass die Wärme von dem die Haut berührenden Gegenstande sich mehrere Male nach einander durch

¹ Der Redaction am 22. October 1901 zugegangen.

² Betreffe einiger anderen Beobachtungen, die auch den hier behandelten Gegenstand berühren, sei auf Gad und Goldscheider (2. S. 397) und auf Naunyn (3) verwiesen. Die in Klammern gesetzten Zahlen nach den Verfasser-namen beziehen sich auf das Litteraturverzeichnis am Schlusse dieser Arbeit.

die Haut entladet. Dafür spricht seiner Meinung nach der Umstand, dass die Haut an der Berührungsstelle wärmer wird, also eine Wärmeanhäufung stattgefunden hat. Proportional mit dieser Wärmeentladung soll nun die Schmerzempfindung an- und abschwellen.

Hierzu mag bemerkt werden, dass die Annahme einer stossweise geschehenden Wärmeausgleichung in keiner Weise mit den Gesetzen übereinstimmt, denen der Wärmeaustausch zwischen zwei einander berührenden Körpern in gewöhnlichen Fällen gehorcht. Schlechthin verneinen lässt sich ja allerdings nicht die Möglichkeit, dass die lebenden Gewebe besondere Eigenthümlichkeiten auch hinsichtlich der Wärmeausgleichung aufweisen können, aber ohne wirklichen Grund darf eine solche Annahme nicht gemacht werden.

Es sei weiter auf einige Untersuchungen von Gad und Goldscheider (2. S. 397) hingewiesen, welche die hier behandelte Frage sehr nahe berühren.

Der Ausgangspunkt für die Untersuchungen dieser Forscher war eine von Goldscheider (2. S. 44) gemachte Beobachtung, dass man bei einer hinreichend starken mechanischen Reizung der Haut zuerst eine Berührungsempfindung erhält, worauf eine stechende Schmerzempfindung folgt. Goldscheider beschreibt das Phänomen mit folgenden Worten: „Wenn man mit einer Messerspitze schnell, am besten die Hohlhand berührt, so tritt momentan nur die Tastempfindung auf, welcher dann erst der stechende Schmerz folgt.“

Im Verein mit Gad setzte er dann seine Untersuchungen fort, und diese beiden Forscher beschreiben folgendes Phänomen, das sie als mit dem vorher von Goldscheider beschriebenen identisch ansehen (2. S. 397). Uebt man mit einer Nadelspitze einen leichten Druck auf die Haut aus, so hat man ausser der ersten sofort eintretenden stechenden Empfindung nach einem empfindungslosen Intervall eine zweite, gleichfalls stechende Empfindung, welche sich in ihrem Charakter dadurch von der ersten unterscheidet, dass ihr nichts von Tastempfindung beigemischt ist, sie vielmehr gleichsam wie von innen zu kommen scheint. Bei mässiger, noch nicht schmerzhafter Intensität der primären Empfindung kann die secundäre schmerzhaft sein. Wird die Intensität des Eindrucks so gesteigert, dass die erste Sensation schmerzhaft ist, so wird die zweite im Verhältniss zur ersten schwächer. Das Phänomen der secundären Empfindung tritt schon bei sehr schwachen, vom Schwellenwerthe nicht weit entfernten Reizen auf.“

Die Deutung, die Gad und Goldscheider dem Phänomen geben, stützt sich auf das Verhalten desselben bei elektrischer Reizung.

Sie fanden nämlich Folgendes. Wenn einzelne Inductionsschläge auf die Haut applicirt werden, so tritt das Phänomen nicht auf, dagegen lässt es sich leicht bei Anwendung einer Reihe von Inductionsschlägen nachweisen. Ein einzelner Inductionsschlag giebt bloss eine einzige Empfindung, welche Stärke man auch anwenden möge vom Minimum perceptibile an bis zu einer solchen Stärke des Inductionsschlages, dass man excentrische Empfindungen bekommt. Im Besonderen tritt das Phänomen nicht auf, wenn die Stärke der Empfindung gleich der ist, welcher bei mechanischer Reizung die Secundärempfindung folgt. Lässt man aber mehrere Inductionsschläge in geeigneter Anzahl und in geeignetem Rhythmus auf einander folgen, so tritt die Secundärempfindung nach einem den primären Empfindungen folgenden empfindungslosen Intervall auf. Diese Secundärempfindung hat denselben Charakter wie die primäre, nur mit dem Unterschiede, dass sie nicht discontinuirlich ist.

Goldscheider und Gad meinen nun, dass die Entstehung der secundären Empfindung auf einer Summirung beruht. Im Einzelnen denken sie sich das auf folgende Weise. Die Berührungs- und Schmerzempfindungen werden ihrer Ansicht nach durch dieselben Nerven der Haut vermittelt. Diese Nerven theilen sich im Rückenmark in zwei Bahnen, deren eine mehr direct zu dem Centrum für die bewussten Berührungs- (Druck)- Empfindungen geht. Eine Reizung der Haut bewirkt also auf diesem Wege eine Berührungsempfindung. Zum Theil wird aber der Reiz auch auf der zweiten Bahn im Rückenmark nach dessen grauer Substanz fortgeleitet und trifft dort auf Zellen, die vor der Hand nur in einen veränderten Reizbarkeitszustand versetzt werden. Erst wenn mehrere Reize nach einander auf diese Weise die Zelle erreichen, wird die angehäuften Energie in Arbeit umgesetzt, und die Zelle sendet nun selbst einen Reiz aus, der auf seinem besonderen Wege das Gehirn erreicht und dort eine Schmerzempfindung hervorruft. Weil also eine Summirung von Reizen in dieser Bahn stattfindet, nannten sie dieselbe die Summirungsbahn.

Diese Deutung erklärt nur das Phänomen, dass einer primären Berührungsempfindung nach einem empfindungslosen Intervall eine Schmerzempfindung folgt. Durch die Annahme, dass ein einziger Reiz von genügender Stärke im Stande ist, durch die Summirungsbahn durchzubrechen, erklären sie die Thatsache, dass schon die primäre Sensation eine Schmerzempfindung sein kann. Aber auch Reize von der Stärke, dass jeder einzelne die Summirungsbahn durchbricht, summiren sich. Dafür spricht, dass eine wenn auch unbedeutende secundäre Empfindung auftritt, auch wenn schon die primäre von einer

Serie von Inductionsschlägen hervorgerufene Empfindung schmerzhaft war. Wie oben erwähnt, konnte ein einziger mechanischer Reiz — ein Nadelstich z. B. — eine secundäre Empfindung veranlassen. Ein einziger mechanischer Reiz führt also zu dem Resultat, zu dem eine Serie von Inductionsschlägen nothwendig ist. Diesen Umstand deuten sie so, dass der mechanische Hautreiz, was seine Wirkung betreffs der Auslösung von Nervenreiz angeht, stets einer Serie von Inductionsschlägen entspricht, also nicht einen einzigen, sondern mehrere centripetale Nervenreize bewirkt.

Die Deutung der secundären Schmerzempfindung als auf einer in der grauen Substanz des Rückenmarks geschehenden Reizsummierung beruhend steht nun nach der Meinung Gad's und Goldscheider's in gutem Einklang mit dem, was man von den Bahnen im Rückenmark weiss. Sie weisen z. B. auf Schiff's Versuche bei Durchschneidung der grauen Substanz hin, wobei die Fortleitung der Schmerzempfindungen, aber nicht die der Berührungsempfindungen aufgehoben war. In dem Verhalten bei Gliose wollen sie auch eine Stütze für ihre Deutung sehen. Sie weisen auch auf die Bedingungen für die Auslösung von Reflexen hin, wofür ja nach Stirling eine Summierung mehrerer Reize nothwendig ist, wenn nämlich der Reiz nicht ausnahmsweise stark ist, in welchem Falle schon ein einziger genügen kann. Sie erblicken weiter eine Bestätigung für die Richtigkeit ihrer Deutung in verschiedenen Beobachtungen bei gewissen Nervenkrankheiten, vor Allem in der manchmal auftretenden Erscheinung verlangsamter Schmerzempfindung (Naunyn, 4. S. 272), wozu sie in der secundären Schmerzempfindung einen physiologischen Prototyp sehen.

Wie wir oben gezeigt haben, ruht also Gad's und Goldscheider's Auffassung von der secundären Empfindung auf der Annahme, dass Druckempfindungen und Schmerzempfindungen durch dieselben nervösen Bildungen in der Haut vermittelt werden.

Neuere Untersuchungen von v. Frey (5) scheinen indessen die Unrichtigkeit dieser Anschauungsweise erwiesen zu haben. v. Frey wies nämlich mit Hilfe punktförmiger, für den Zweck besonders abgepasster Reize nach, dass Druck- und Schmerzempfindungen nicht von denselben, sondern von verschiedenen Punkten der Haut aus ausgelöst werden; er nennt diese Punkte Druck- bzw. Schmerzpunkte und glaubt den Wahrscheinlichkeitsbeweis dafür erbringen zu können, dass die letzteren durch die intraepithelialen freien Nervenenden, die ersteren an behaarten Stellen durch die Nervenkränze rings um die Haare, an den übrigen Stellen durch die Meissner'schen Endorgane

bedingt werden. Gegenüber mechanischen und elektrischen Reizen zeichnen sich nun die Druckpunkte durch die Schnelligkeit, mit der sie reagiren, „durch ihre grosse Beweglichkeit“ aus, die Schmerzpunkte dagegen zeigen für schwachen Reiz sehr lange Latenz, gegenüber schnell sich ändernden bzw. oscillirenden Reizen sehr grosse Trägheit, so dass die Empfindung oft „die Form des Nachhinkens annehmen kann“ (5. S. 264).

Die Deutung, die v. Frey für die Erscheinung giebt, dass ein momentaner Stich erst eine Druckempfindung, dann eine Schmerzempfindung giebt, gründet sich auf diese Eigenschaften bei den verschiedenen Endorganen. Bei gleichzeitiger Reizung kommt wegen der grösseren Trägheit des Schmerzorgans die Schmerzempfindung später. Eine Stütze für diese Deutung sieht er in den Resultaten, die er bei Reizung der verschiedenen Sinnespunkte erhielt (5. S. 243). An freiliegenden Druckpunkten fehlt bei mechanischer Reizung die Secundärempfindung. Liegen dagegen ein Druck- und ein Schmerzpunkt nahe bei einander, so tritt die Secundärempfindung auf. An freiliegenden Schmerzpunkten fehlt dagegen die Druckempfindung. Goldscheider's Versuch ist also nach v. Frey nur ein Beweis dafür, dass zwei nervöse Apparate sich ein und demselben Reiz gegenüber verschieden verhalten können.

Gad und Goldscheider haben indessen bei ihren Studien sich auch mit einer Erscheinung beschäftigt, die nicht aus einer primären Berührungsempfindung und einer secundären Schmerzempfindung besteht und die daher nicht unter die von v. Frey gegebene Erklärung fällt. Einerseits berichten sie, dass schon die primäre Empfindung eine Schmerzempfindung sein kann, wenn auch dabei, wie sie betonen, das empfindungslose Intervall nicht so ausgeprägt sich findet. „Wird die Intensität des Eindrucks so gesteigert, dass die erste Sensation schmerzhaft ist, so wird die zweite im Verhältniss zur ersten schwächer und tritt weniger deutlich hervor, da das leere Intervall zum Theil von der nachdauernden ersten Empfindung ausgefüllt wird“ (2. S. 397).

Was dieses Verhältniss betrifft, so scheint v. Frey die erste Schmerzempfindung als die eigentliche, die zweite als „ein Nachhinken der Erregung“ zu betrachten.

Aber auch abgesehen von diesem von Gad und Goldscheider erwähnten Umstande, dass schon die primäre Empfindung schmerzhaft sein kann, gilt andererseits, worauf wir oben hingewiesen haben, dass nämlich Gad und Goldscheider es oft mit einer Erscheinung zu thun hatten, die nicht aus einer primären Berührungsempfindung und

einer secundären Schmerzempfindung besteht. Was ich hiermit meine, dürfte sich aus dem Folgenden ergeben.

Nach dem, was nunmehr mit hohem Wahrscheinlichkeitsgrade bewiesen worden ist, besitzt die Haut mindestens vier verschiedene Arten von Nerven, nämlich Kälte-, Wärme-, Berührungs- und Schmerz-nerven. Die drei ersten Arten von Nerven haben ihre Namen nach dem Empfindungsinhalte der durch sie ausgelösten Sensationen unangesehen ihres Gefühlstones erhalten; die Schmerznerve dagegen haben ihren Namen ausschliesslich nach dem Gefühlston der durch sie ausgelösten Sensationen erhalten, unter Absehen von dem übrigen Empfindungsinhalte — aus sehr natürlichen Gründen. Aber eben dies, dass der Gefühlston hierbei das ausschliesslich Namegebende gewesen ist, hat bewirkt, dass man zu wenig den übrigen Empfindungsinhalt berücksichtigt hat, der doch bei einer gewissen Stärke der Sensation der vorherrschende ist.

Wenn man sich nicht klar geworden ist über den Charakter, den die bei Reizung der sog. Schmerznerve ausgelösten Empfindungen bei einer gewissen Intensität hat, so liegt die Gefahr nahe, verschiedene sowohl von der Haut, wie von den Schleimhäuten ausgelöste Sensationen zu missdeuten; und besonders in dem vorliegenden Falle ist es leicht, die Empfindungen zu missdeuten, die z. B. bei mechanischer punktförmiger Reizung der Haut entstehen. Berührt man, wie Gad und Goldscheider das thaten, die Haut mit einer spitzen Nadel, so erhält man oft schwache, stechende Sensationen, die durchaus nicht mit irgend welchem Schmerz verbunden sind. Durch welche Nerven sind nun diese stechenden, nicht schmerzhaften Sensationen ausgelöst worden?

Eine Deutung, die hierfür nahe liegt, ist folgende. Da wir es ja in dem betreffenden Falle weder mit Wärme-, noch Kälte-, noch Schmerz-sensationen zu thun haben, so liegt hier vermuthlich eine Berührungssensation vor, die durch Berührungs- (Druck-) Nerven ausgelöst ist. Dass sie als ein schwacher Stich aufgefasst wird, beruht darauf, dass sie durch einen spitzen Gegenstand bewirkt worden ist. Wir percipiren also, dass eine feine Spitze die Haut berührt oder gegen sie drückt, und fassen also dies als einen schwachen Stich auf, der jedoch nicht schmerzhaft ist, weil die Schmerznerve nicht gereizt wurden.

Indessen ist eine solche Deutung sicherlich irrig. Es dürfte sich im Gegentheil so verhalten, dass die schwachen, nicht schmerzhaften Stich-sensationen durch dieselben Nerven ausgelöst werden, die bei stärkerer Reizung die wirklich schmerzhaften, stechenden, brennenden

Sensationen veranlassen, also durch die Schmerznerven, nicht die Berührungsnerven.

Dass diese stechenden Sensationen unabhängig von der Anwendung eines spitzen Gegenstandes sind und daher nicht als von einem solchen bewirkte Berührungssensationen gedeutet werden können, ergibt sich bei Anwendung meiner Reizlamellen als Schmerzreizmittel. Wenn man mit diesen Reizlamellen, die eine Oberfläche von 4^{cm} haben und auf 100 Grad gehalten werden, die Haut untersucht, so erhält man mit den dünnsten nur Berührungs- und Temperatursensationen, mit etwas dickeren ausserdem eine äusserst feine, stechende Sensation, die für das Bewusstsein nichts mit den eben erwähnten Sensationen zu thun hat: diese stechende Sensation ist durchaus nicht schmerzhaft; erst wenn der Reiz noch weiter verstärkt wird, erhält sie einen unangenehmen Gefühlston, und bei Anwendung noch dickerer Lamellen wird sie schmerzhaft.

Der schmerzhafte Charakter ist indessen hervorgetreten, trotzdem das Reizmittel auf einer Oberfläche von 4^{cm} gewirkt hat. Unter solchen Verhältnissen hat man es offenbar mit Nerven zu thun, deren spezifische Energie eben die ist, unabhängig von der Art des Reizmittels, sofern es nur reizend wirkt, Sensationen des eben beschriebenen Charakters auszulösen, eines Charakters, der meines Erachtens am einfachsten und besten durch das Beiwort stechend ausgedrückt wird, wobei die Sensation bei höherer Intensität schmerzhaft ist.

Da die stechenden, nicht schmerzhaften Sensationen, die bei elektrischer und mechanischer Reizung erhalten werden, in allem Wesentlichen mit den durch thermische Reizung bewirkten übereinstimmen, hat man allen Grund, sie als durch dieselben Nerven ausgelöst zu betrachten.

Wiederholt man nun Gad und Goldscheider's Versuche mit mechanischer Reizung und richtet seine Aufmerksamkeit darauf, ob die erhaltenen Sensationen reine Berührungsempfindungen oder stechende Sensationen sind, so findet man in Wirklichkeit, dass man bisweilen eine erste Berührungsempfindung erhält, der eine spätere stechende Sensation folgt, und bisweilen eine stechende Sensation, der eine zweite solche folgt. Die erstere dieser Erscheinungen ist, wie oben erwähnt, schon von v. Frey erklärt worden, für die andere dagegen scheinen mir Gad und Goldscheider keine befriedigende Erklärung gegeben zu haben. Es ist diese Erscheinung, bestehend aus zwei der Zeit nach geschiedenen stechenden Sensationen, deren Untersuchung die vorliegende Abhandlung gilt.

[Auch von den Mund- und den Nasenhöhlen werden, besonders

bei chemischer Reizung, Sensationen ausgelöst, die ich in Ermangelung besserer Namen auch fernerhin als kalt stechend bezeichnen will, und die nicht schmerzhaft sind, wenn sie sehr schwach sind, die es aber bei grösserer Intensität werden. Das Freisein dieser Sensationen von Schmerz wird recht gut durch den Umstand beleuchtet, dass sie ganz sicher eine wichtige Componente in den Geschmacksempfindungen darstellen, die verschiedene unserer Gewürze, z. B. Senf und Pfeffer, uns erregen, auch bei Intensitäten, wo diese Empfindungen immer noch angenehm sind. Auch Kohlensäure (in kohlensäurehaltigen Getränken) und Alkohol können angenehme zusammengesetzte Empfindungen geben, von denen diese stechenden Empfindungen einen Bestandtheil ausmachen.]

Um nicht missverstanden zu werden, will ich betonen, dass ich nicht meine, jeder von der Haut ausgelöste Schmerz sei stechend, auch wenn man von dem Charakter absieht, den er durch Beimischung anderer Empfindungen, durch Eigenthümlichkeiten in der Ausdehnung, im Zeitverlaufe u. s. w. erhalten kann. Im Gegentheil tritt bisweilen ein dumpfer Schmerz auf, der durchaus nichts mit Stechen oder Brennen zu thun hat. Es ist mir in der That wahrscheinlich, dass in oder unmittelbar unter der Haut eine weitere Art Schmerznerven sich findet, deren specifische Energie eben die ist, diese dumpfen Sensationen auszulösen.

Die Beobachtungen, die mich zuerst zu dieser Annahme geführt haben, sind folgende.

Wenn man an Hautstellen, wo die Haut die Erhebung sehr kleiner — nur einen oder höchstens ein paar Millimeter hoher — Hautfalten zulässt, z. B. auf der Volarseite des Unterarms nahe der Armbeuge, mit einem pincettartigen Instrumente oder besser vielleicht nur mit den Nägeln eine solche Falte klemmt, so erhält man, ob die Reizung langsam oder schnell ausgeführt wird, Empfindungen, die stechend oder brennend genannt werden können.¹ Wenn man dagegen auf eine grosse in die Höhe gehobene — centimeterhohe — Hautfalte drückt und den Druck auf die Mitte, nicht auf die Biegungskante ausübt, so erhält man bei schwächster Reizung eine dumpfe Sensation. Dasselbe ist der Fall bei präformirten Hautfalten, z. B. den Ohrzipfeln, den Hautfalten zwischen den Fingern u. s. w.; wird der Druck auf die Biegungskante selbst ausgeübt, so tritt eine stechende, brennende Sensation auf; bei Druck über einen dickeren Theil erhält man die dumpfe

¹ Oft glaube ich auch Kälte- und Wärmeempfindungen als in den Sensationen enthalten zu spüren.

Empfindung. Wenn man von der in der Physiologie bisher gebräuchlichen Auffassung ausgeht, dass die verschiedenen Charaktere des Schmerzes nur auf Verschiedenheiten in der Reizungsweise und auf Beimischung anderer Sensationen beruhen, so liegt es nahe sich zu denken, dass die Verschiedenheiten zwischen den Empfindungen bei den beiden verschiedenen Reizungsweisen auch hier so entstanden sind und nicht auf Unterschieden in den spezifischen Energien der Nerven beruhen. Hiergegen spricht indessen der eigene Charakter der Sensationen. Sie sind bedeutend von einander verschieden. Hiergegen spricht auch, dass, wie auch der Druck auf kleine geeignete Hautfalten wirke, an diesen stets nur die stechende, brennende Sensation erhalten wird. Beruhte die dumpfe Sensation auf der Reizungsweise, so könnte man ja erwarten, dass sie auch an den kleinen Hautfalten sich zeigte, z. B. wenn die Compression ganz langsam vermehrt wird.

Der Umstand, dass man von den kleinsten Hautfalten nur stechende, brennende Sensationen erhält, spricht weiter dafür, dass die nervösen Bildungen, die den dumpfen Schmerz vermitteln, an tiefere Schichten gebunden sind, und der Umstand, dass, wenn eine grössere Falte einem gleichförmigem Drucke ausgesetzt wird, der schwächste schmerzhervorrufende Reiz nur den dumpfen Schmerz hervorruft, spricht dafür, dass die nervösen Bildungen, die diesen vermitteln, empfindlicher für diese Reizungsweise sind als die, welche den stechenden Schmerz vermitteln, da ja der Reiz diese letzteren mindestens in gleichem Grade treffen muss.

Ebendahin deuten auch die Ergebnisse bei Anwendung anderer Formen mechanischer Reizung und anderer Reizmittel.

Wird die Haut von der lebendigen Kraft eines Gegenstandes von grosser Masse und relativ geringer Geschwindigkeit getroffen — führt man z. B. einen Schlag aus mit einem kautschukbekleideten Perkussionshammer — so erhält man die dumpfe Sensation isolirt. Die brennende wird dagegen isolirt erhalten bei Anwendung von Gegenständen mit geringer Masse und grosser Geschwindigkeit, z. B. mit einer leichten Stahlfeder, die mit grosser Geschwindigkeit, doch ohne die Haut zu beschädigen, gegen dieselbe stösst. Es ist leicht einzusehen, dass im ersteren Falle die Wirkung auf die tieferen Schichten grösser sein muss als im letzteren.

Auch die Ergebnisse bei Anwendung von thermischen, elektrischen und chemischen Reizmitteln scheint mir nach derselben Richtung hinzudeuten.

Wenn der Haut kleine Wärmemengen von hoher Temperatur mittels meiner Reizlamellen — eine Form exquisiter thermischer Rei-

zung (siehe unten) — zugeführt werden, so treten stechende, brennende Sensationen auf. Bei anämischer Haut dagegen, z. B. bei einem Finger, der durch Umwicklung mit Kautschukband anämisch gemacht worden ist, und wo also die schützende Wirkung, die sonst der Blutstrom auf tiefe Schichten ausübt, fortgefallen ist, müssen die Bedingungen für das Erhalten des dumpfen Schmerzes bei thermischer Reizung besser sein. In der That scheint mir die nach einer langen Latenzzeit kommende Schmerzempfindung, die in einem anämischen Finger beim Eintauchen in warmes bezw. kaltes, eben Schmerz hervorruftendes Wasser — über 41° bezw. unter 15° — überwiegend den dumpfen Charakter besitzt. Indessen sind die Empfindungen, besonders bei Anwendung von warmem Wasser als Reizmittel, nicht gerade leicht zu analysiren, so dass ich über diesen Punkt mich nicht bestimmt äussern will.

Dafür, dass die dumpfe Schmerzempfindung, die von der Haut ausgelöst werden kann, von etwas tieferen Schichten ausgeht, sprechen auch die Ergebnisse bei Anwendung von besonders oberflächlich wirkendem Reiz. Führt man nämlich constante oder Inductionsströme durch sehr spitze Elektroden der Haut zu, so entstehen nur stechende, brennende Sensationen. In diesem Falle muss ja nach den Gesetzen für die Ausbreitung der Elektrizität die Stromdichte unmittelbar unter der Elektrodenspitze diejenige in tieferen Schichten so sehr übertreffen, dass bei Anwendung mittelstarker Ströme nur die Nervenenden in den ersteren gereizt werden. Und auch bei chemischer Reizung der in kleinen, oberflächlichen Wunden freigelegten Nerven scheinen, nach der alltäglichen Erfahrung und nach Grützner's (6) Untersuchungen zu urtheilen, vor Allem die Sensationen aufzutreten, die ich hier als stechende, brennende zusammengefasst habe.

Das Auftreten der dumpfen Schmerzempfindung zeigt grosse locale Differenzen. Interessant scheint mir hierbei das Verhalten des Scrotums zu sein. An grösseren Hautfalten desselben, wie sie solchen entsprechen, an denen man anderwärts den dumpfen Schmerz hervorruft, kann man diesen nicht, wenigstens nicht deutlich, hervorrufen, man erhält nur die stechend-brennende Empfindung. In Uebereinstimmung nun mit der höheren Reizschwelle für den brennenden Schmerz bei der hier vorliegenden Form mechanischer Reizung ist — wie übrigens schon Björnström (13) beobachtet hat — das Scrotum ziemlich unempfindlich. Vielleicht deutet dies darauf hin, dass der dumpfe Schmerz an so tiefe Schichten gebunden ist, dass sie im Scrotum nicht repräsentirt wird.

Es ist nicht meine Absicht, zu behaupten, dass die hier vor-

gelegten Beobachtungen entscheidend sind für die Frage nach der Existenz zweier verschiedener Arten von Schmerznerven mit verschiedenen spezifischen Energien. Diese Beobachtungen können ja möglicher Weise auch anders gedeutet werden. Aber schon in ihrer jetzigen Form zeigen sie, wie nöthig es ist, dass, sowohl bei physiologischen, wie klinischen Untersuchungen über die Schmerzempfindungen der Haut, wenn überhaupt eine Analyse möglich ist, angegeben wird, ob der Charakter des Schmerzes stechend-brennend, oder dumpf oder aus diesen beiden Empfindungen gemischt ist. Ich betone dies um so mehr, als ich in einer früheren Abhandlung (7), ehe ich die oben mitgetheilten Beobachtungen gemacht hatte, bei dem Versuch, die Reizschwelle für den Temperaturschmerz bei anämischer Haut (dies, um den temperatursgleichenden Einfluss des Blutstroms zu vermeiden) zu bestimmen, auf diesen Punkt keine Rücksicht genommen und daher möglicher Weise die Reizschwelle für die tieferen Schmerznerven, anstatt für die oberflächlichen bestimmt habe.

2. Das Auftreten zweier Stichschmerzempfindungen bei verschieden angeordneter Wärmerelzung.

A. Bei Anwendung 100gradiger Reizlamellen.

Die hier unten mitgetheilten Ergebnisse wurden bei thermischer Reizung der Haut mittels Reizlamellen mit einer Oberfläche von 4^{cm} erhalten. Dieselben wurden auf der Temperatur von 100° gehalten, indem sie in einem in leisem Kochen gehaltenen Wasserbade placirt wurden (1. S. 337; 8. S. 385). Die Nummern der Reizlamellen geben deren Dicken in 1000stel Millimetern an.

Bei Anwendung dieser Methode habe ich, wie erwähnt, gefunden, dass unter gewissen Bedingungen nicht nur eine, sondern zwei Stichsensationen auftreten. Davon, dass das Phänomen nicht nur ein individueller oder localer Zufall ist, habe ich mich überzeugt, indem ich sowohl verschiedene Körpertheile (Arm, Bein, Bauch, Brust), als auch verschiedene Individuen untersuchte. Allerdings scheint das Phänomen gewisse individuelle und locale Verschiedenheiten aufzuweisen, im Allgemeinen aber tritt es doch deutlich auf.

Die Art, wie das Phänomen bei verschieden starker Reizung auftritt, ergibt sich aus dem folgenden Versuchsprotokolle. In demselben ist von den beim Placiren der Lamelle auf die Haut auftretenden Temperaturempfindungen abgesehen worden. Die Untersuchungsstelle war bei diesem wie den meisten anderen Versuchen der linke Unterarm.

Nummer der Reizlamelle	
20	Berührung.
30	Berührung; nach einer Weile eine minimale Empfindung stechenden Charakters.
35	Wie bei 30; „Stich“ etwas stärker.
40	„ „ „ „ „ „
45	„ „ „ „ „ „
50	Eine Berührungsempfindung, begleitet von einem „Stich“; nach einer Weile ein zweiter Stich, stärker als der erste.
60	Wie bei 50.
70	Die beiden stechenden, brennenden Empfindungen fangen an, ziemlich stark zu werden. Die erste tritt ungefähr an der Stelle der Berührungsempfindung auf und überdeckt diese.
90	Wie bei 70.
100	Beide Empfindungen sehr stark und nicht so momentan. Die erste beginnt, die Zwischenzeit zwischen beiden in Anspruch zu nehmen. Die zweite immer noch die stärkere.
150	Die brennende Zwischenzeit ist nicht mehr da. An der Stelle der zweiten Empfindung zeigt sich eine starke Anschwellung. Der Schmerz nunmehr sehr unbehaglich.

Bei Anwendung thermischer Reizmittel in dieser Form findet man also, dass die schwächsten Reize eine einzige schwache Empfindung stechenden Charakters entstehen lassen, die bei erhöhter Reizintensität an Stärke zunimmt. Die Empfindung hat eine ziemlich lange Apperceptionszeit. Wird nun die Stärke des Reizmittels noch weiter erhöht, so erhält man zwei derartige Empfindungen, eine schnell sich einstellende und eine mit längerer Apperceptionszeit. Die erstere ist die schwächste, schwächer sogar als die, die als einzige bei etwas geringerem Reizstärke erhalten wird. Wird der Reizintensität noch mehr erhöht, so werden beide stärker, ziehen sich in die Länge und fließen schliesslich zusammen.

Schon hieraus scheint sich zu ergeben, dass die bei schwacher Reizung allein auftretende Schmerzensation dem zweiten der beiden bei stärkerer Reizung auftretenden „Stiche“ entspricht. Der erste scheint sich vor dem bereits bestehenden einzuschieben. Wie hieraus hervor-

zugehen scheint, könnte man also bei dieser Reizungsart zwischen zwei Serien Stichschmerz-sensationen unterscheiden, einer mit niedrigerem Minimum perceptibile, aber längerer Apperceptionszeit, und einer mit kürzerer Apperceptionszeit, aber höherer Reizschwelle.

B. Bei Anwendung anderer Arten thermischer Reizung und anderer Temperaturen.

Wenn man der Haut Wärme zuführt, indem man sie mit einem auf constanter Temperatur gehaltenen, gut wärmeleitenden Gegenstande berührt, z. B. mit einem mit Messingboden versehenen Gefäss, durch das heisses Wasser hinreichend schnell fliesst — ich habe eine solche Anordnung Temperator (8. S. 385) genannt — so findet man, dass das Phänomen je nach der Länge der Berührungszeit sich verschieden verhält. Der Temperator hatte eine kreisrunde Berührungsfläche von 3^{cm} Durchmesser. Untersuchungsstelle: linker Unterarm.

1. Bei länger andauernder Berührung. Der Temperator wurde auf die Haut placirt und nicht eher entfernt, als bis Schmerz sich einstellte.

Beim Uebergang von niedriger zu höherer Temperatur findet man da Folgendes.

Erst wenn man dem durchströmenden Wasser eine Temperatur von ungefähr 50° giebt (etwas verschieden für verschiedene Stellen, offenbar sehr abhängig von der Dicke der Haut, weshalb sowohl diese wie die folgenden Temperaturangaben einen sehr relativen Werth haben), erfährt man — nach langer Berührungszeit — einen feinen „Stich“. Bei den niedrigsten schmerzherzvorrufenden Temperaturen dauert diese Sensation nur kurze Zeit an und verschwindet bald. Bei etwas höherer Temperatur bleibt sie bestehen und nimmt etwas an Intensität zu, ist jedoch durchaus nicht unerträglich. Ihr folgt keine zweite Sensation. Wird die Temperatur über 50° bis zu 56° erhöht, so kommt die stechende Empfindung deutlicher, wird stärker und dauert länger. Auch wenn man den Temperator entfernt, sobald man die Stichsensation wahrnimmt, kommt es nicht zu einer Wiederholung derselben. Bei 56 bis 57° erhält man zuerst eine schwache stechende Sensation, die sich direct in einer plötzlich anschwellenden, ziemlich stark schmerzhaften Sensation fortsetzt. Ob man augenblicklich nach Auftreten der Sensation den Temperator entfernt, oder ihn weiter behält, eine Wiederholung der Sensation tritt nicht ein. Bei 58 bis 60° kann man, wenn man den Temperator in dem Augenblicke abhebt, wo man die Stichsensation zu fühlen beginnt, möglicher Weise ein sehr kurzes, empfin-

dungsloses Intervall und darauf eine stechende Sensation wahrnehmen. Indessen ist es schwierig, exacte Beobachtungen über das Auftreten der stechenden Schmerz-sensation bei diesen Graden zu machen, weil die gleichzeitig vorhandenen starken Temperaturempfindungen die Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Auch wenn das durchströmende Wasser über 60° warm ist, bleibt die Doppelsensation aus. Die einzige Andeutung derselben ist, dass der Schmerz, der sich schnell einstellt, nicht ganz gleichmässig steigt, sondern etwas schwach beginnt, um dann plötzlich zu steigen.

2. Bei kürzer dauernder Berührung. Man entfernt den Temperator von der Haut, bevor irgendwie Schmerz sich eingestellt hat. Wenn die Berührungszeit nicht allzu kurz war und der Temperator hinreichend hohe Temperatur besass, so hat er doch so viel Wärme an die Haut abgeben können, dass nach einer kürzeren oder längeren Latenzzeit eine Schmerzempfindung ausgelöst wird.

Man kann entweder allein mit der Hand die Berührungszeit anpassen, oder auch kann man die Sache sich dadurch erleichtern, dass man eine Stahlfeder den Temperator in einer bestimmten Stellung halten lässt. Durch einen mehr oder weniger kräftigen Druck kann man für kürzere oder längere Zeit den Temperator gegen die unter ihm liegende Haut pressen. Sobald der Druck aufhört, federt der Temperator empor.

Bei dieser Untersuchungsweise findet man, dass man mit dem Temperator oberhalb 60° ohne Schwierigkeit die doppelte Schmerz-sensation hervorrufen kann. Indessen ist zu diesem Zwecke nöthig, dass die Länge der Berührungszeit richtig abgepasst wird. Ist sie zu kurz, so erhält man entweder keine oder auch nur eine einzige Schmerz-sensation. Ist die Berührungszeit zu lang, so wird der Schmerz stark und das Intervall zwischen den beiden Sensationen wird vermindert, oder auch fliessen diese zusammen.

Anstatt eines Temperators kann man jede beliebige Wärmequelle von genügend hoher Temperatur anwenden, sofern sie nur an die Haut eine bestimmte, genügend grosse Wärmemenge in genügend kurzer Zeit, wonach die Wärmezufuhr unterbrochen wird, abgeben kann. Hält man z. B. einen Finger über eine Flamme und passt die Zeit ab, so treten deutlich die zwei Sensationen auf. Am bequemsten und besten gelingt das jedoch bei Anwendung der oben erwähnten Lamellen. Für alle Temperaturen über 60° kann man in der Serie eine Lamelle finden, die möglichst gut die Erscheinung auf der Volar-seite des linken Unterarms hervorrufft, während dünnere und dickere es weniger gut thun. Je niedrigere Temperaturen man anwendet, um

so dicker muss die Platte sein. Unterhalb 60° tritt die Erscheinung nicht deutlich auf, eine Andeutung davon kann man aber bis herunter zu 58° verspüren.

Dass die Erscheinung bei diesen Reizlamellen so bequem auftritt, dürfte darauf beruhen, dass die Anwendung der verschiedenen Nummern denselben Effect hat wie ein sehr feines Abpassen der Zeit der Berührung mit einem auf derselben Temperatur gehaltenen Gegenstand. Ein und dieselbe Platte führt eine bestimmte Wärmemenge zu, weder mehr noch weniger, während dagegen die geringste Aenderung in den Berührungszeiten, wenn es sich um andere Reizungsweisen handelt, eine Aenderung der zugeführten Wärmemenge herbeiführt, und ohne complicirte Vorrichtungen dürfte eine völlig sichere Abpassung der Berührungszeit schwierig sein.

Stellt man die Ergebnisse, die bei Anwendung von Reizlamellen erhalten wurden, mit den Ergebnissen bei Anwendung constanter Temperaturen zusammen, so kann man den Schluss ziehen, dass zwei Schmerzempfindungen auftreten, wenn bei Anwendung hinreichend hoher Temperatur eine bestimmte Wärmemenge in hinreichend kurzer Zeit der Haut zugeführt wird.

Die verwandte Frage nach dem Verhalten des Phänomens bei Anwendung von Kältereizmitteln habe ich nicht studirt.

3. Die Apperceptionszeiten der beiden Stichsensationen bei thermischer Reizung.

Schon aus dem oben Mitgetheilten geht mit einem gewissen Grade von Wahrscheinlichkeit hervor, dass die bei schwacher Reizung allein sich einstellende stechende Sensation in dem zweiten der beiden bei stärkerer Reizung auftretenden Stiche ihre Entsprechung hat. Dies ergibt sich noch deutlicher aus den im Folgenden mitgetheilten Reactionsversuchen.

Versuchsmethode.

Bestimmungen der Reactionszeit bei Anwendung thermischer Reizmittel sind vor Allem von Goldscheider (2. S. 312) und von v. Vintschgau und Steinach (19), aber auch von Tanzi (10) und Dessoir (11) angestellt worden. Die drei ersteren hatten die Anordnung benutzt, dass das Temperaturreizmittel — ein Metallgegenstand von wechselndem Temperaturgrad — sowie es die Haut berührt, gleichzeitig mittels eines Hebels auf einen elektrischen Contact wirkt, wodurch der Augenblick der Reizung markirt wird; Tanzi wandte als

Reizmittel theils eine Flamme, theils Aether an, welche Reizmittel zu wirken begannen, sobald ein Deckel niederfiel, der gleichzeitig ein Chronoskop in Gang setzte. Dessoir wandte dagegen bei seinen Untersuchungen keine besondere Vorrichtung an, um den Augenblick zu markiren, wo das Temperaturreizmittel die Haut traf. Seine hier angezogenen Untersuchungen gingen nämlich nur darauf aus, den Zeitunterschied zwischen den Momenten zu bestimmen, wo eine Wärmeempfindung bezw. eine Schmerzempfindung sich einstellte, wenn er genügend warmes Wasser auf die Haut tropfen liess oder einen Finger in derartiges Wasser eintauchte. Zur Markirung dieses Zeitunterschiedes verwendete er ein Chronoskop.

Sowohl v. Vintschgau und Steinach's, wie Goldscheider's und Tanzi's Untersuchungen bezogen sich eigentlich nur auf die Reactionszeiten der Kälte- und Wärmesensationen, aber die von ihnen angewandten Methoden sind natürlich auch anwendbar bei Untersuchungen über die Reactionszeiten des Temperaturschmerzes.

Bestimmungen dieser sind indessen nur in einer geringen Zahl von Fällen ausgeführt worden. Goldscheider theilt einige wenige Werthe mit. Auch Dessoir's oben citirte Untersuchungen über den Zeitunterschied zwischen dem Auftreten der Wärme- und Schmerzempfindungen bei Anwendung von Wärmereizmitteln können ja als eine Untersuchung über die Reactionszeit des Wärmeschmerzes angesehen werden, indem man zu der Differenzzeit die Reactionszeit der Wärmeempfindung addiren kann. Indessen sind die von diesem Forscher erhaltenen Werthe kaum von Interesse für den hier behandelten Gegenstand.

Versuchsmethode bei meinen Untersuchungen.

Um den Augenblick zu markiren, in dem das Wärmereizmittel die Haut traf, wurde über die Haut an der Untersuchungsstelle ein Paar besonders feiner, zu einander parallel laufender Messingdrähte gelegt, die je mit einem Pol einer elektrischen Batterie in Verbindung standen. Der verwendete Strom war so schwach, dass er sich nicht einen Weg durch die Haut zwischen den beiden Metalldrähten bahnte, was daraus zu ersehen war, dass ein in die Stromleitung eingeschaltetes Signal keinen Strom angab, sowie auch daraus, dass in der Haut zwischen den Leitungsdrähten keinerlei Sensation auftrat. Wenn der warme Metallgegenstand die Haut traf, traf er auch gleichzeitig die beiden dünnen, praktisch gesehen im Niveau der Haut liegenden Metalldrähte und schloss den elektrischen Strom. Ein in die Stromleitung eingeschaltetes Signal markirte diesen Augenblick auf einem

rotirenden Cylinder. Das Auftreten der Empfindung wurde von der Versuchsperson mittels eines Morseschlüssels markirt, durch den die Strombahn wieder geöffnet wurde. Der Zeitwerth der Linie zwischen den beiden Marken wurde auf gewöhnliche Weise durch gleichzeitige Aufschreibung von $\frac{1}{100}$ und $\frac{1}{5}$ Secunden bestimmt. Bequemer wäre es natürlich gewesen, ein Hipp'sches Chronoskop anzuwenden. Ein

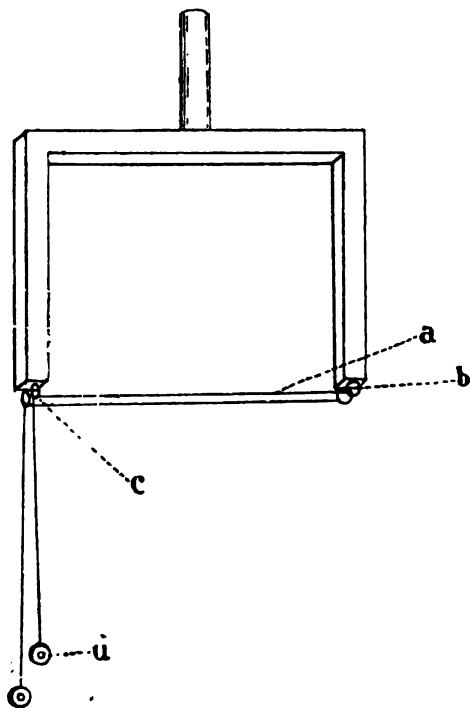


Fig. 1 (sechs Mal verkleinert).

solcher Apparat stand mir indessen nicht zur Verfügung. Damit die angewandten Drähte der Haut auf richtige Weise anliegen sollten, und damit ferner die ganze Vorrichtung leicht auf jeder beliebigen Hautstelle sollte applicirt werden können, wurde die Anordnung benutzt, wie sie aus Fig. 1 zu ersehen ist. Von einem gemeinsamen Querstück gehen zwei Arme herunter. Die Drähte (a) sind an dem untersten Theile des einen derselben (b) befestigt und stehen dort in Verbindung mit den Polen einer Batterie; sie laufen dann über eine Axe (c), die an den unteren Theil des anderen Armes befestigt ist und werden durch ein angehängtes Gewicht d in geeigneter Spannung gehalten. Auf

diese Weise befinden sich die Drähte stets parallel zu einander, ohne sich zu berühren, und werden ferner bei richtiger Belastung in geeigneter Spannung gehalten, so dass, wenn z. B. zur Untersuchung des Armes dieser zwischen die abwärtsgehenden Gerüstarme geschoben und die beiden Drähte etwas gehoben werden, diese von selbst sich der Haut dicht anlegen, ohne sich jedoch in sie einzudrücken. Will man die Versuchsstelle wechseln, bringt man eine andere Hautstelle unter die beiden Drähte. Ein solcher Wechsel muss übrigens oft vorgenommen werden, sollen nicht die Versuchsergebnisse durch die von einer früheren Reizung zurückgebliebenen Veränderungen im Wärmebestand der Haut und in der Reizbarkeit der Endorgane getrübt werden. Die Bedeutsamkeit besonders dieses letzteren Momentes ergibt sich daraus, dass an der Untersuchungsstelle leicht ein brennender Schmerz zurückbleibt.

Die Methode ist besonders einfach und leicht durchführbar und scheint mir auch völlig exact zu sein. Die verwendeten Drähte können mit so geringer Wärmecapacität gewählt werden, dass sie keinesfalls einen nennenswerthen Wärmeverlust für die Wärmequelle herbeiführen können. Wenn ferner das Temperaturreizmittel schnell genug aufgesetzt wird, kann kein nennenswerther Zeitunterschied bestehen zwischen dem Augenblick, da der Strom geschlossen, und dem, da die Haut berührt wird, auch wenn der Messingdraht ein paar Tausendstel Millimeter über die Haut hervorragen sollte. Auf die hier mitgetheilten Resultate kann das in jedem Falle keinen nennenswerthen Einfluss ausüben.¹ Die Methode ist einfacher als die Goldscheider's und v. Vintschgau's und Steinach's und dürfte wohl ganz ebenso genau sein. Die Reactionsstelle war der linke Unterarm.

Versuchsergebnisse.

Die erhaltenen Reactionszeiten ergeben sich aus der Tab. I, in welcher sie nach Tigerstedt's und Bergqvist's Methode (12. S. 24) angeordnet sind. Sie sind also in bestimmte Hauptgruppen einrangirt worden; in unserem Falle umfasst jede Hauptgruppe $\frac{10}{100}$ Secunden; unter 30 sind alle Werthe von $\frac{26}{100}$ bis $\frac{35}{100}$ Secunden zusammengefasst worden u. s. w. In welchem Procentverhältniss die zu einer bestimmten Hauptgruppe gehörigen Resultate zu sämmtlichen Resul-

¹ Nur die letzten Reactionszeitversuche werden nach der eben beschriebenen Methode ausgeführt. Vorher hatte ich eine nach denselben Principien angeordnete, aber nicht so bequeme Methode angewendet.

Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, sind mit der Lamelle Nr. 40 acht Versuche angestellt worden. In der Hälfte derselben traten zwei Schmerzsensationen nach einander auf, in der Hälfte nicht. Die Ursache hierfür dürfte sein, dass die Lamelle Nr. 40 gerade die Wärmemenge hält, die nöthig ist, um die früh auftretende Schmerz sensation hervorzurufen. Wenn die Wärmemenge aus irgend einem Anlass unter dieses Minimum sinkt, so tritt nur die spätere auf. Derartige Anlässe lassen sich viele denken (ein etwas zu grosser Wärmeverlust, wenn die Lamelle aus dem Wasserbade genommen wird, etwas dickere Epidermis auf der einen Stelle als auf der anderen u. s. w.). Dieser Umstand lässt den Schluss zu, dass, auch wenn man die Erscheinung mit noch näher aneinander liegenden Lamellen, als hier gethan wurde, untersuchen wollte, das Resultat dasselbe bleiben würde: dass nämlich entweder eine Schmerzreaction um 130 herum, oder auch zwei solche, eine um 40, eine um 130 herum, ausgelöst werden. Die Zwischenwerthe finden sich nicht vertreten. Bei höheren Wärmemengen scheinen die Reactionszeiten etwas zu sinken. Die Zwischenzeit zwischen den beiden Sensationen scheint recht constant gewesen zu sein, sie betrug im Mittel 87 hundertstel Secunden (Min. 68, Max. 112) oder abgerundet $\frac{9}{10}$ Secunden.

Um die feineren Details in dieser Sache zu studiren, wäre ohne Zweifel eine grössere Anzahl Versuche erforderlich. Deutlich ergibt sich jedoch aus den hier mitgetheilten Versuchen, dass die Schmerz sensation bei thermischer Reizung der hier angewandten Art zwei verschiedene Apperceptionszeiten hat, eine längere bei schwacher thermischer Reizung, eine kürzere bei stärkerer Reizung. Auch zeigt sich deutlich, dass die bei schwacher Reizung allein auftretende Sensation in der späteren der bei momentaner, starker Reizung auftretenden beiden Schmerz sensationen ihre Entsprechung hat.

Im Folgenden wird die bei schwacher Reizung allein auftretende und die damit gleichwerthige der beiden Schmerz sensationen die „verzögerte“ oder „späte“, die erste der beiden die „augenblickliche“ oder „frühe“ genannt werden.

Es erhebt sich ungesucht die Frage: wie verhalten sich die Reactionszeiten bei Anwendung anderer als der hier angewandten Reizungsformen? Wenn man von den niedrigsten Temperaturen, die gerade noch Schmerz hervorrufen, aufsteigt zu höheren Temperaturen, zeigt sich da ein ähnlicher Sprung in der Reactionszeit, als wenn man von wärmeärmeren zu wärmereicheren hundertgradigen Lamellen übergeht? Man könnte ja beim ersten Blick fast erwarten, dass, wenn eine ge-

wisse Gradzahl überschritten worden, die Reactionszeit, die vorher relativ lang gewesen, um $\frac{9}{10}$ Secunden sich verkürzte.

Um diese Frage zu beantworten, habe ich eine Reihe von Versuchen angestellt. Als Wärmequelle verwendete ich einen Temperator, zur Markirung des Berührungsaugenblickes diente die oben beschriebene Anordnung. Ich selbst setzte den Temperator auf die Haut. In demselben Augenblicke, wo die Haut berührt wurde, wurde auch der Strom geschlossen und der Reizungsaugenblick markirt. In dem Augenblicke, wo die Schmerzensation auftrat, wurde der Metallgegenstand abgehoben, so dass auf diese Weise das Auftreten der Sensation markirt wurde.

Diese Anordnung hatte den Vortheil, dass die Berührungszeit nicht länger war als die Reactionszeit selbst, was bei Anwendung hoher Temperaturen bei dem die Haut berührenden Gegenstände von Wichtigkeit war, weil man so den bei längerer Berührungszeit sich einstellenden immer stärkeren Schmerzensationen entging.

Besonders schien es mir sich zu empfehlen, die Temperaturen zu untersuchen, bei denen, wie vorher festgestellt worden, bei richtiger Abpassung der Berührungszeit oder anders bewerkstelligter Regulirung der zugeführten Wärmemenge eine doppelte Schmerzensation auftreten kann, die Temperaturen nahe unterhalb und über 60°.

In nachstehender Tabelle finden sich die erhaltenen Werthe nach der Methode Tigerstedt-Bergqvist's geordnet mitgetheilt. Unter A wird die angewandte Temperatur, unter B die Zahl der damit angestellten Versuche angegeben. Zwischen den A- und B-Columnen sind die Werthe in Hauptgruppen nach oben angegebenen Princip geordnet. Unter C finden sich die Mittelzahlen der erhaltenen Werthe.

Tabelle II.

A	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180, 100 Sec.	B	C
50°	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	2	8	1	3	2	—	14	145
52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	4	2	4	1	2	—	—	—	14	126
54	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	3	9	5	—	—	—	—	18	130
55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1	2	8	6	3	—	—	—	21	134
56	—	—	—	—	—	2	1	—	1	1	1	3	1	—	—	—	—	—	10	100
58	—	—	—	—	1	1	3	1	4	—	3	3	1	—	—	—	—	—	17	95
60	—	—	—	—	—	2	3	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	72
62	—	—	7	8	11	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	45
68	—	2	12	7	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	33
	—	2	19	15	12	10	7	5	5	3	10	16	25	15	6	3	2	—		

Wenn der Temperator auf 50° bzw. 52° gehalten wurde, so wurden, gemischt unter die oben angeführten Werthe, auch folgende erhalten, die hier für sich aufgeführt werden.

50°	52°
530	290
455	335
605	245
690	
240	
450	
480	

Betreffs dieser Reactionsversuche ist Folgendes zu bemerken. Sie waren mit grösserer Schwierigkeit verbunden als z. B. die Versuche über die reine Berührungsempfindung. Die Ursache dieser Schwierigkeit liegt darin, dass gleichzeitig mit und vor der Schmerzempfindung auch Temperatur- und Berührungsempfindungen auftreten, weshalb es oft schwierig ist wahrzunehmen, wann die Schmerzsensation beginnt. In diesem Punkte zeigen indessen verschiedene Temperaturen verschiedenes Verhalten.

Bei 50° kommt die stechende Empfindung bisweilen bestimmt, sie setzt gleichsam auf einmal ein, und die Reaction ist dann leicht auszuführen. In gewissen Fällen aber ist bei Anwendung derselben Temperatur schwer zu entscheiden, ob und wann die Stichsensation begonnen hat, und man zögert dann leicht zu lange mit der Reaction. Hat man sich bestimmt sagen können, dass die Reaction zu langsam war, so konnte natürlich der erhaltene Werth verworfen werden. Lange Reactionszeiten kommen jedoch bei 50° bisweilen vor, ohne dass solch ein Grund zur Verwerfung des Werthes besteht. Bei Anwendung von 52° setzt die Empfindung öfter bestimmt ein, und die Reaction ist daher leichter. Auch hier kommt jedoch manchmal die Reaction spät, ohne dass ein Grund vorläge, sie zu verwerfen. Die grösseren Werthe sind hier geringer an Zahl als bei 50°. Bei 54° und 55° geschieht die Reaction verhältnissmässig leicht. Der Stich kommt deutlich und bestimmt. Bei 56 bis 58° ist jedoch die Reaction ausnehmend schwierig; theils treten gleichzeitig mit der stechenden Sensation sehr starke Temperaturempfindungen auf, theils beginnt der Stich äusserst fein, um dann plötzlich zu hoher Intensität anzuschwellen, zu um so höherer, je länger man damit gewartet, den warmen Metallgegenstand abzuheben. Die Intensität des Schmerzes ist so hoch, dass sie starkes Unbehagen verursacht. Da die Aufmerksamkeit oft mehr auf den starken erwarteten

Schmerz, als auf den Beginn der Stichsensation gerichtet wird, da dieser ferner wegen der fortdauernden starken Temperatursensationen etwas verschleiert ist, darf es nicht verwundern, dass auch die hier angeführten Reactionszeiten ziemlich verschiedenartig sind. Möglicher Weise haben auch diese Verschiedenheiten andere Gründe, worüber Näheres weiter unten. Hat man 60° erreicht, so wird die Reaction wieder leichter, der Schmerz tritt bestimmt ein. Die erhaltenen Werthe weisen auch nicht so grosse Verschiedenheiten auf.

Ich gebe gerne zu, dass zahlreichere Versuche erwünscht sind. Dadurch würde man vielleicht zu feineren Details und zu grösserer Sicherheit der Resultate kommen. Aber auch in ihrer vorliegenden Gestalt lassen sie einige Schlüsse zu, wenn man sie mit dem zusammengestellt, was im Uebrigen über Auftreten und Charakter der Empfindungen bei verschiedenen Arten der Reizapplication mitgetheilt worden ist.

Es zeigt sich da zunächst deutlich, dass kein plötzliches Sinken der Reactionszeit bei einem bestimmten Grade eintritt. Von 50 bis 60° sinkt allerdings die Reactionszeit von 145 auf 72 hundertstel Secunden (über den Grund, weshalb ich bei Berechnung der Mittelzahl 145 die längsten Reactionszeiten nicht mitgenommen habe, siehe weiter unten). Aber die Zwischenglieder sind vertreten. Ein so ausgeprägtes und deutliches Sinken wie bei Application der auf 100° erwärmten Reizlamellen kommt hier nicht vor.

Die naheliegende Vermuthung, dass die plötzliche Verminderung der Reactionszeit, welche eintritt, wenn die Reizung mit den hochgradigen Lamellen eine bestimmte Grenze überschreitet, sich auch zeigen würde, wenn der Reiz durch Erhöhung des Wärmegrades verstärkt wird, diese Vermuthung hat sich also nicht bestätigt.

Einer solchen Vermuthung liegt in Wirklichkeit die stille Annahme zu Grunde, dass trotz der Verschiedenheit der Reizmittel, die die Hautoberfläche treffen, die Temperaturänderung in der Schicht der Nervenenden doch dieselbe ist. Da die Consequenzen dieser Annahme sich als unrichtig herausgestellt haben, kann sie selbst nicht aufrecht erhalten werden: die Temperaturänderung in der Schicht der Nervenenden muss bei den beiden Reizungsweisen eine Verschiedenheit darbieten.

Diese Verschiedenheit dürfte in der Geschwindigkeit zu suchen sein, mit der die Temperaturänderung in den beiden Fällen sich vollzieht.

Bei Application der hochgradigen Wärmemenge ist ja der Temperaturunterschied zwischen der Haut und dem berührenden Gegen-

stand grösser als bei der anderen angewandten Reizungsweise; und da nach den Gesetzen für die Wärmeausgleichung unter sonst gleichen Verhältnissen um so mehr Wärme abgegeben wird, je grösser der Temperaturunterschied ist, muss die Haut wenigstens im ersten Berührungsaugenblicke mehr Wärme im ersteren als im letzteren Falle aufnehmen. Andererseits aber ist bei Application der Lamellen die zugeführte Wärmemenge sehr begrenzt, weshalb die Temperatur wiederum schnell sinken muss.

Bei der anderen Reizungsweise, wo die Berührungsfläche constante Temperatur hat, muss der Wärmegrad in der Schicht der Nervenenden immer langsamer sich einem Maximum nähern, das durch die Wärmezufuhr von aussen und den Verlust nach innen bedingt ist. Erst wenn die Wärmequelle entfernt wird, beginnt der Temperaturfall (unter der Voraussetzung, dass man die Beziehungen zwischen Blutstrom und Wärmeleitung in der Haut als constant betrachten darf). Die Temperaturfluctuation ist hier also langsamer, und die Nervenenden brauchen längere Zeit, um die verschiedenen Phasen der Reizung zu durchlaufen. Die Reizung mit einer begrenzten 100-gradigen Wärmemenge liesse sich also vergleichen mit einem schnellen Stoss, die Erwärmung mit einem 50- bis 60 gradigen Gegenstande mit einem langsam wachsenden Druck.

Die Resultate bei Anwendung der 100 gradigen Lamellen haben ergeben, dass für eine bestimmte höhere Reizschwelle die Reactionszeit ungefähr $\frac{9}{10}$ Secunden kürzer ist als für darunter liegende Reize. Es ist nun klar, dass, je langsamer die Reizungscurve ansteigt und je längere Zeit zwischen dem niedrigeren und dem höheren Schwellenwerthe in der Curve liegt, um so weniger die Reactionszeit durch Erreichung des höheren Schwellenwerthes vermindert wird; denn je längere Zeit der niedere Schwellenwerth diesem höheren vorhergeht, um so mehr wird der Zeitpunkt für die diesem letzteren folgende momentane Empfindung verschoben gegen die verzögerte Sensation hin, die auf den niedrigeren Schwellenwerth nach ungefähr $\frac{9}{10}$ Secunden folgt.

Beträgt der Zeitunterschied zwischen den beiden Schwellenwerthen in der Curve ungefähr $\frac{9}{10}$ Secunden, so kann es auf die Reactionszeit keinen Einfluss ausüben, wenn die höhere Reizschwelle erreicht wird. Sollte die Reizungscurve noch weniger steil sein, so muss die Folge offenbar die sein, dass die bisher sog. augenblickliche Sensation später kommt als die „verzögerte“, und sie kann also auch jetzt nicht die Reactionszeit verkürzen.

Aus dem hier Gesagten geht hervor, dass zwei isolirte Schmerz-sensationen bei einer einzigen Reizung nicht auftreten können, wenn

die Reizungscurve so langsam steigt, dass der Abstand zwischen den beiden Punkten, die die beiden Schwellenwerthe darstellen, einem Zeitwerthe von annähernd $\frac{9}{10}$ Secunden entspricht. Noch weniger kann ein empfindungsloses, zwischeneingeschobenes Intervall auftreten, falls der Zeitunterschied zwischen diesen Punkten noch grösser wird; in solchem Falle kann offenbar die Schmerzensation mit dem höheren Schwellenwerthe nur als eine Verstärkung der bereits vorhandenen Schmerzensation auftreten.

Aus dieser Erörterung hat sich also ergeben, dass man beim Uebergang von niederen zu höheren Reiztemperaturen nicht mit Bestimmtheit eine ausgeprägte, plötzliche Senkung in der Reactionszeit erwarten kann; es ergibt sich auch indirect, dass man aus dem Anbleiben der doppelten Schmerzensation nicht den Schluss ziehen kann, der angewandte Reiz habe nicht den höheren Schwellenwerth erreicht.

Die naheliegende Frage, welches die niedrigste Temperatur ist, die diesen Schwellenwerth darstellt, kann daher von dem Mitgetheilten aus nicht mit Bestimmtheit beantwortet werden. Oberhalb 58 bis 60° bei dem berührenden Gegenstande kann er indessen nicht liegen; mit Reizlamellen über 60° kann man ja die doppelte Schmerzensation hervorrufen, und die Reactionszeit für diese Temperaturen beträgt ja weniger als 1 Secunde; und auf weniger als 1 Secunde kann die Summe aus der Latenzzeit des niedrigeren Schwellenwerthes und die Zeit für die Ausführung der Reaction selbst nicht geschätzt werden.

Einige Worte wären vielleicht nöthig, um die grossen Verschiedenheiten in der Reactionszeit zu beleuchten, die bei Anwendung niedriger constanter Temperaturen erhalten werden. Sie erklären sich gut genug aus der Art und Weise, wie man sich hierbei den Vorgang der Wärmesteigerung in der Schicht der Nervenenden zu denken hat. Nach dem, was wir von den Gesetzen für die Temperaturengleichung wissen, muss die schnellste Temperatursteigerung während des ersten Berührungsaugenblickes erfolgen, worauf sie dann mit immer geringerer Geschwindigkeit sich vollzieht, bis ganz allmählich der stationäre Zustand erreicht wird, der eine Gleichgewichtslage darstellt, bedingt durch Wärmezufuhr und Wärmeverlust. Wird der Schwellenwerth nicht während des ersten Augenblickes erreicht, sondern fällt er in den langsam ansteigenden späteren Theil desselben, so können die Werthe sehr grosse Verschiedenheiten zeigen. Ein Moment, welches bewirkt, dass die Reizschwelle in diesen langsam ansteigenden Theil der Reizungscurve fällt, muss daher eine bedeutende Verlängerung der Apperceptionszeit bewirken; und kleine Verschiedenheiten in diesen

Momenten müssen grosse Verschiedenheiten in der Apperceptionszeit bewirken können. Eine unbedeutende Aenderung der angewandten Temperatur, ein unbedeutender Unterschied in der Dicke der Hautschicht die die nervösen Bildungen von der Wärmequelle trennt, lassen sich als solche Momente denken. Und dies recht sicher; denn wenn man absichtlich die Einwirkung unbedeutender Aenderungen hierin untersucht, so ist die Einwirkung auf die Reactionszeit frappant. Bei Anwendung von 49° z. B. kann die Reactionszeit oft nach Secunden zählen: 3, 4, 5, 6 Secunden. Bei Application des Reizes auf dickere Haut erreicht die Reactionszeit für 50° dieselben Grössen. Derartige Momente, wie sie nicht ganz und gar vermieden werden konnten dürften wohl die höheren unter den Werthen, die bei Anwendung von 50° und 52° erhalten worden sind, verursacht haben. Ich habe daher, um eine Mittelzahl zu gewinnen, diese ausgeschlossen. Natürlich ist dies nicht ganz genau; das richtige Verfahren wäre gewesen, jedes störende Moment ganz und gar auszuschliessen.

Die Gesichtspunkte, die hier geltend gemacht worden sind, um die grossen Verschiedenheiten in der Reactionszeit der verzögerten Schmerz sensation bei Anwendung sehr niedriger Temperaturen zu erklären, können natürlich auch verwandt werden zur Erklärung der Verschiedenheiten in der Apperceptionszeit der augenblicklichen, bei den Temperaturen, die als niedrig für die Hervorrufung derselben angesehen werden können, nämlich die Temperaturen 56 bis 58° . Mit Rücksicht hierauf wurde oben gesagt, dass die grossen Verschiedenheiten in der Reactionszeit bei den genannten Temperaturen vielleicht einen anderen Grund hätten als die Schwierigkeit, zu beobachten, wann die Sensation begann.

Wenn ich im Vorhergehenden von der Reizschwelle des Schmerzes gesprochen habe, so hat dies nicht der Temperatur in der Schicht der Nervenenden gegolten. Es ist a priori klar, dass diese sich immer etwas unterhalb der auf der Hautoberfläche angewendeten hohen Temperaturen hält; die Veränderungen in der Schicht der nervösen Endorgane ist, wie Goldscheider (2. S. 354) sich ausdrückt, ein Miniaturbild der auf der Oberfläche geschehenden Veränderungen.

4. Auftreten zweier stechender Sensationen bei mechanischer Reizung. Versuche über Reactionszeit.

Wie in der Einleitung erwähnt worden, war eine von Goldscheider bei mechanischer Hautreizung gemachte Beobachtung der Ausgangspunkt für Gad und Goldscheider's Untersuchungen über

die verzögerte Schmerzempfindung. Sie haben dann näher das Verhalten des Phänomens bei mechanischer Reizung und besonders die Latenzzeit der verzögerten Sensation unter dem Einflusse einer Reihe verschiedener Variabler studirt. Sie reizten die Haut mit einer Nadel, und mittelst einer besonderen Vorrichtung konnte die Intensität und Dauer des Reizes, wie auch die Steilheit der Reizungscurve verändert werden. Sie konnten also einen bestimmten Einfluss der Dauer der Reizung auf das Auftreten des Phänomens constatiren. Eine mittlere Dauer der Reizung von 110 bis 120 tausendstel Secunden stellte bei einer bestimmten Stärke der Reizung und bei mittelsteil ansteigender und abfallender Reizungscurve das Optimum für das Eintreten der Erscheinung dar. Und in diesem Falle betrug die Zeit von dem Schluss der Reizungscurve bis zu dem Moment, wo die Versuchsperson für die verzögerte Empfindung reagierte, ungefähr 1 Secunde. Wenn die Dauer der Reizung 400 bis 500 tausendstel Secunden überschritt, so wurde das Intervall vor der vergrösserten Sensation allmählich kleiner.

Selbst habe ich auch — Anfangs jedoch ohne Zeitbestimmungen anzustellen — die Bedingungen für das Auftreten der beiden stechenden Sensationen theils bei oberflächlicher, theils bei punktförmiger mechanischer Reizung studirt.

Eigenthümlich war es mir schon immer vorgekommen, dass die beiden stechenden Sensationen nicht von den Personen beschrieben worden sind, welche Methoden für die Untersuchung des Schmerzsinnes der Haut mit Hülfe mechanischer Reizmittel ausgearbeitet haben, wo man doch ein Auftreten des Phänomens bei Anwendung derartiger Methoden, die ja Gelegenheit zu bequemer Veränderung der Reizintensität bieten mussten, erwarten konnte.

Um die Sache näher zu studiren, habe ich nach den Principien, die verschiedenen algesimetrischen Methoden zu Grunde liegen, mechanisch die Haut gereizt, aber das Phänomen kommt wirklich in den meisten Fällen nicht zu Stande, ob man nach dem Princip für Björnström's (13) oder Herz und Schlesinger's (14) Methoden eine aufgehobene Hautfalte kneift, oder ob man nach Buch (15. 16), Motschutkowski (17), Philippe oder Kaulbine (18) langsam oder ein wenig mehr stossweise eine mehr oder weniger spitze Nadel gegen die Haut stösst.

In Wirklichkeit ist indessen dieses Verhältniss bei näherem Zusehen nicht erstaunlich. Denn wenn man diese Untersuchungen nicht in ganz besonders schneller Weise ausführt, so darf man annehmen, dass der Druck entweder relativ langsam wächst, oder langsam sinkt.

Uebrigens ist der Schmerz, der hierbei auftritt, oft nicht der stechende Schmerz, um den es sich hier handelt, sondern der dumpfe.

Wenn man dagegen auf die Haut schnell und oberflächlich wirkende mechanische Reize applicirt, so erhält man die beiden stechenden Sensationen ziemlich leicht.

Damit der Reiz schnell wirke, wandte ich Gegenstände an, die die Haut mit grosser Geschwindigkeit treffen und ganz plötzlich ihre Bewegungsenergie an die Haut abgeben, z. B. eine aus ihrer Gleichgewichtslage gebrachte Feder, die beim Zurückfedern die Haut trifft. Damit dabei die stechende, nicht die dumpfe Sensation auftrete, muss der Gegenstand relativ grosse Geschwindigkeit und kleine Masse haben. Zur Anwendung geeignet sind gewöhnliche Claviersaiten von verschiedener Dicke und einigen bis 10^{cm} Länge, deren eines Ende irgendwie befestigt ist. Das andere Ende der Feder wird aus der Gleichgewichtslage gebracht und schlägt dann nieder gegen die Haut, die am besten so placirt wird, dass sie von der Feder getroffen wird, wenn diese ihre Gleichgewichtslage erreicht; oder man kann auch platte Federn anwenden, entweder gewöhnliche Uhrfedern oder solche, wie sie bei der Damentoilette verwendet werden und in jedem Kurzwaarengeschäft zu erhalten sind. Damit die Haut in den einzelnen Fällen immer von der gleichen Berührungsfläche getroffen werde, kann man am Ende der Feder eine kleine Platte befestigen. Sie muss indessen äusserst leicht gewählt werden, sonst wird das Resultat dasselbe, als wenn man grosse Masse und kleine Geschwindigkeiten anwendet, d. h. man bringt in erster Linie die dumpfe Schmerzensation hervor.

Um zu untersuchen, wie sich das Phänomen bei Uebergang von schwacher zu starker Reizung verhält, wandte ich folgenden Apparat an, der eine für diesen Zweck hinreichend genaue Abpassung der Reizstärke erlaubt (s. Fig. 2).

Eine Stalfeder *a* ist an ihrem einen Ende befestigt, an dem anderen frei. Das freie Ende ist gebogen, wie die Zeichnung zeigt, um bequem aus der Gleichgewichtslage gebracht und dann losgelassen werden zu können. Wenn die Feder ihre Gleichgewichtslage einnimmt, erreicht sie gerade die Fläche, auf der die Fuss Scheibe ruht, welche die Theile des Apparates trägt und zusammenhält. Die Feder wird längs einer Gradscheibe in die Höhe gehoben und dann auf eine bei allen Versuchen gleiche Weise (wozu allerdings einige Vorsicht und Uebung erforderlich ist) losgelassen. Sie trifft dann die darunterliegende Haut mit verschiedener, von der Hubhöhe abhängiger Kraft.

Eine Feder *b* kann in verschiedener Richtung so eingesetzt werden, dass ihr Angriffspunkt auf die Feder *a* verändert wird, wodurch die

Kraft, mit der *a* zurückschlägt, noch weiter vermehrt werden kann. (Die Feder *b* ist in den meisten Fällen entbehrlich.)

Es ist nun klar, dass, je mehr man die Feder aus ihrer Gleichgewichtslage entfernt (ohne indessen einen Bruch oder eine bleibende Deformation derselben herbeizuführen), mit um so grösserer lebendiger Kraft sie die Haut treffen, um so stärker also der Reiz sein wird. Indem man nun die Feder an der Gradscheibe verschieden hoch hebt, kann man leicht constatiren, dass man bei geringster Reizintensität eine reine Berührungsempfindung, bei grösserer Reizstärke eine Berührungssensation, der nach einem Intervall eine Schmerzseensation

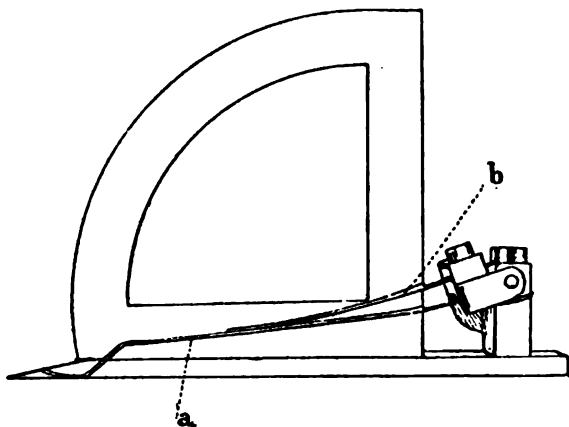


Fig. 2.

folgt, bei noch stärkerer Reizung eine augenblickliche und eine verzögerte Schmerzempfindung erhält. Bei stärkerer Reizung geschieht es oft, dass die späte Empfindung schwächer wird, ja dass nur eine starke „augenblickliche“ Empfindung auftritt, die dann ziemlich schnell abnimmt, ohne dass man eine „verzögerte“ Sensation wahrnimmt.

Von grosser Wichtigkeit für das Verständniss der doppelten Schmerzseensation ist, wie in dem Folgenden gezeigt werden wird, das Verhalten derselben bei punktförmiger Reizung. Um sichere Resultate zu erhalten, muss — wie ich gefunden — die punktförmige Reizung Gelegenheit bieten, einen bestimmten Punkt auf der Haut nach einander mit verschiedenen starken momentanen Reizen zu untersuchen.

Methoden, die Haut mit punktförmigen mechanischen Reizen zu untersuchen, die eine exacte Bestimmung der Reizstärke erlauben, finden sich bei Blix (19) und v. Frey (5) angegeben. Ihre Methoden,

die ja zu wichtigen und sicheren Resultaten geführt haben, eignen sich indessen nicht, wenigstens nicht ohne Abänderungen, für meine Untersuchungen. Blix' Methode geht ja eigentlich darauf aus, die Haut mit relativ schwachen Reizen zu untersuchen, und v. Frey's Methode ist allerdings für verschiedene Zwecke sehr bequem, hat aber den Nachtheil, dass die Haare oder Glasfäden (siehe Thunberg [20]), mit denen der punktförmige Reiz zugeführt wird, ungleiche Berührungsflächen haben, weshalb die mit ihnen erhaltenen Werthe beim Uebergehen von schwacher zu starker Reizung nicht ohne Weiteres mit einander vergleichbar sind.

Die von mir für meinen speciellen Zweck benutzte Anordnung ging von der Beobachtung aus, dass, wenn man an einem feinen Faden eine Nähnadel aufhängt und auf eine einfache Weise das Gewicht der Nadel vermehrt oder vermindert, man hierin eine einfache Vorrichtung besitzt, die Haut mit verschiedenen Reizstärken punktförmig zu reizen. Die Nadel wird in den verschiedenen Fällen mit gleicher Geschwindigkeit gegen die Haut geführt, und je nach dem Gewicht der Nadel ändert sich die Reizintensität. Damit die Nadel nicht hin und her schwingt, sondern einen bestimmten Punkt der Haut trifft, lässt man sie durch eine über dem betreffenden Punkte fixirte Röhre gleiten, welche letztere nur so weit ist, dass die Nadel ohne eigentliche Reibung auf und nieder gleiten, während sie gleichzeitig nicht seitwärts schwingen kann. — Die nachstehende Zeichnung giebt eine Vorstellung von der etwas improvisirten Anordnung, in welcher diese Principien zur Anwendung kamen.

Eine sehr spitze, feine Nadel *a* — Figg. 3 und 4 — (Nr. 10, sharp points; die Nadeln im Handel sind meistens gleichförmig numerrirt, wie ich erfahre) ist an ihrem oberen perforirten Ende mit Lack an zwei anderen Nadeln *b* befestigt, die in derselben Richtung wie die erstere gehen und zwischen sich einen Zwischenraum von einigen Millimetern (siehe Fig. 4). Oben sind diese Nadeln wiederum durch Lack verbunden und an einem $1\frac{1}{2}$ dm langen Faden *c* befestigt, der von einem vorspringenden Arm *d* herunterhängt, welcher letzterer den einen Schenkel einer Pincette mit starker Feder bildet und hierdurch in einer bestimmten Lage gehalten wird. Drückt man auf den federnden Pincettenschenkel, so senkt sich die Nadelspitze und trifft einen bestimmten Punkt auf dem unterhalb der Nadel placirten Hautbezirk. Sobald der Druck aufhört, wird die Nadel durch die Federkraft wieder in die Höhe gehoben. Damit die Nadel nicht hin und her schwingt oder seitwärts gleitet, und damit man sicher und bequem einen bestimmten Punkt treffen kann, gleitet die Nadel möglichst reibungslos

in einer kleinen Röhre *e*, die an einem Arm desselben Stativs befestigt ist, wie der Draht, von welchem der Arm herunterhängt.

Um den Druck der Nadel gegen die Haut bequem ändern zu können, wird die Belastung derselben durch einen Hebel *f* vermittelt, welcher um eine Axe *g* drehbar ist (die Axenvorrichtung in der Zeichnung nicht deutlich sichtbar). Der Hebel ist durch ein Gewicht *h* äquilibrirt, das nahe der Axe placirt ist, um Schleuderbewegungen zu

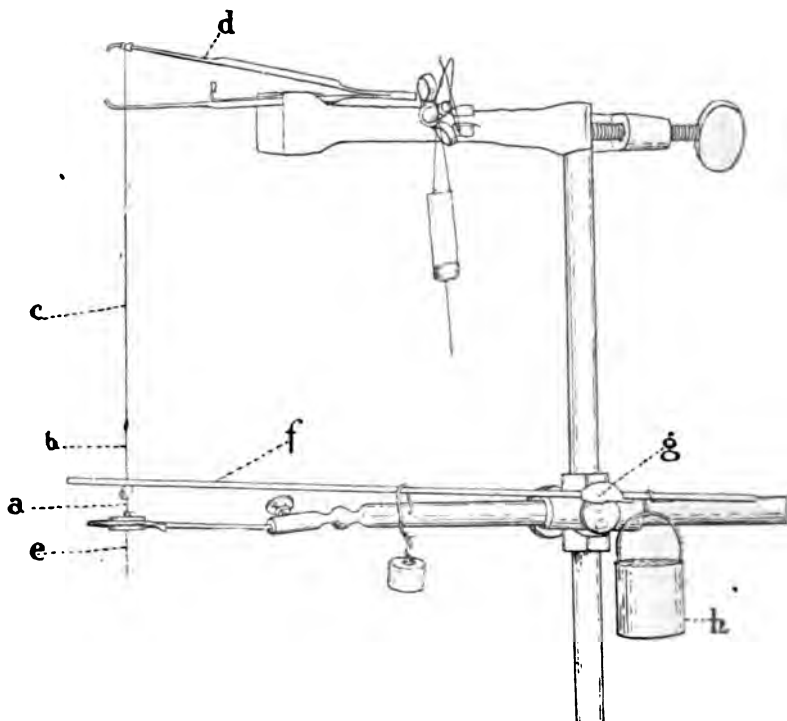


Fig. 3.

vermeiden. Der Hebel ist in den Zwischenraum zwischen den beiden oberen Nadeln eingefügt und ruht also auf dem Lack, der sie unten zusammenhält. An dem Hebel können Gewichte aufgehängt werden. Er ist so angeordnet, dass er möglichst horizontal liegt, wenn die Nadel die Haut trifft.

Wenn der Hebel beschwert ist, lastet er also auf dem Nadel-system in verschiedenem Grade, je nach der Grösse des belastenden Gewichtes und seinem Platz am Hebel. Durch Aenderung dieses Platzes kann die Belastung leicht variirt werden. Der auf die Nadel

selbst wirkende Theil des Gewichtes wird aus der Länge der Hebelarme berechnet. Der Druck, den die Nadel gegen die Haut ausübt, wird allerdings etwas durch die Reibung in der Röhre vermindert. Da indessen diese sehr unbedeutend ist — die Resultate bleiben ungefähr dieselben, auch wenn die Nadel frei hängt — da ferner nicht so sehr die absoluten Werthe, als vielmehr die relativen von Bedeutung für die vorliegende Untersuchung waren —, so hat dies keinen Einfluss auf die Anwendbarkeit der Versuchsanordnung. Um die Belastung der Nadel zu ändern, wandte ich auch eine an der Nadel befestigte Papierröhre an, die mit Bleischrot gefüllt werden konnte (i). Die Hebelmethode war jedoch bequemer.

Eine Untersuchung mittels dieses Apparates, der sicherlich in vieler Hinsicht leicht verbessert werden könnte, geht auf folgende Weise vor sich. Die Hautstelle wird einige Millimeter unterhalb der Nadelspitze placirt; man drückt den Arm nieder, der den Draht trägt. Die Feder wird niedergedrückt, die Nadel, belastet durch den Hebel, senkt sich, trifft die Haut und ruht in dem Augenblicke, wo der Faden schlaff wird und sich krümmt, auf der Haut. Da der Reiz möglichst momentan sein muss, so hört man nun sofort mit dem Druck auf den Aufhängungsarm auf; die Feder hebt sofort die Nadel von der Haut ab. Man ändert die Belastung an dem Hebel und wiederholt den Versuch. — Der Abstand der Nadel von der Haut darf natürlich nicht so gross sein, dass sie, wenn sie die Haut trifft, mit ihrem Kopf sich auf den oberen Rand der Gleitröhre auflehnt. Man lernt es leicht, die Nadel stets mit gleicher Geschwindigkeit zu senken. Die Ungleichheiten hierbei, die nicht zu vermeiden sind, wirken nicht nennenswerth auf die erhaltenen Werthe ein, wovon man sich leicht durch die Resultate bei den verschiedenen Versuchen überzeugt.

Ich habe es daher für unnöthig und überflüssig angesehen, eine Vorrichtung anzubringen, die eine constante Senkungsgeschwindigkeit ermöglicht.

Die Nadel sammt den daran befestigten Appartheilen ist so leicht (ungefähr 150^{mg}), dass nur eine schwache Berührungsempfindung entsteht, wenn die Nadel langsam auf die Haut herabgesenkt wird.

Untersuchungsstelle: Dorsalseite der Hand und der Finger.

Wenn man auf diese Weise eine grössere Anzahl Punkte hinsichtlich der Empfindungen untersucht, die auftreten, wenn man von ge-

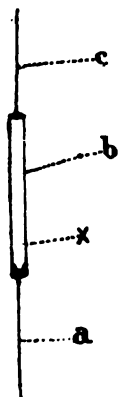


Fig. 4.

ringerer zu grösserer Belastung des Nadelsystems fortschreitet, so findet man, dass die verschiedenen Punkte sich verschieden verhalten.

Ein Theil der untersuchten Punkte veranlasst nur eine Berührungsempfindung, auch wenn man die Belastung so vermehrt, dass die Nadel in die Haut eindringt, eine Thatsache, auf die bereits Blix hingewiesen hat.

Diejenigen, die überhaupt eine Schmerzempfindung verursachen, zeigen verschiedenes Verhalten.

1. Von einigen Punkten erhält man bei etwas stärkerer Reizung eine Berührungsempfindung, der nach einem empfindungslosen Intervalle eine stechende Sensation folgt. Wird die Reizstärke noch mehr erhöht, so tritt an der Stelle der Berührungsempfindung eine Stichsensation auf, welche die erstere überdeckt; nach einem Intervall folgt wiederum eine Stichsensation.

2. Andere Punkte verhalten sich insofern diesen gleichartig, als man von ihnen eine Berührungsempfindung erhält, der nach dem typischen Intervall eine Stichsensation folgt. Wird der Reiz weiter verstärkt, so tritt wie vorher an die Stelle der Berührungsempfindung eine Stichsensation, aber die spätkommende Stichsensation fällt fort.

3. An anderen Punkten wieder folgt der bei schwacher Reizung auftretenden Berührungsempfindung bei stärkerer Reizung — und man muss dabei die Reizstärke bedeutend erhöhen — eine Stichsensation am Orte der Berührungsempfindung. Eine verzögerte Sensation ist nicht wahrzunehmen.

Um die verzögerte Stichsensation hervorzurufen, muss das Gewicht des Nadelsystems mindestens 500 bis 1000 ^{ms} betragen. Die frühe Stichsensation erfordert mindestens 3000 bis 5000 ^{ms}, also 3 bis 10^s grössere Belastung, und hierbei dringt im Allgemeinen die Nadel etwas in die Haut ein. Man merkt dies theils daraus, dass manchmal eine unbedeutende Menge Flüssigkeit, manchmal etwas Blut hervorsickert, theils und meistens daraus, dass die Nadel etwas in der Haut haftet.

Es zeigt sich also klar, dass die verzögerte Schmerz sensation an gewisse Punkte, die empfindlichsten, gebunden ist, also an v. Frey's Schmerzpunkte. Nur hier kann die doppelte Schmerzempfindung hervorgerufen werden.

Die späte und die frühe Stichsensationen sind einander nicht ganz gleichartig. Abgesehen von der Verschiedenheit, die dadurch bedingt ist, dass die frühe fast stets mit einer Berührungsempfindung vermengt ist, ist die verzögerte auch nicht so momentan und hat einen Charakter, von dem ich, um ihn zu verdeutlichen, sagen möchte, dass er voller ist als der der augenblicklichen.

Reactionszeitversuche.

Betreffs des Zeitunterschiedes zwischen den beiden Sensationen, die bei punktförmiger mechanischer Reizung auftreten, habe ich einige Reactionszeitversuche angestellt. Aehnliche Versuche sind allerdings schon von Gad und Goldscheider ausgeführt worden, welche, wie erwähnt, bei wechselnder Intensität und Dauer des Reizes und wechselnder Steilheit der Reizungscurve die Zeit bestimmten von dem Augenblicke, wo die Reizung aufhörte, bis zu dem Augenblicke, wo die Reaction für die secundäre Sensation gemacht wurde. Betreffs der von ihnen erhaltenen Werthe sei auf ihre Abhandlung verwiesen. Die hier mitgetheilten Reactionsversuche erlauben indessen einige weitere Schlüsse, da hier zwischen den beiden Erscheinungen unterschieden werde: 1. eine frühe Berührungs- und eine späte Stichsensation; 2. zwei der Zeit nach getrennte stechende Sensationen. Die Versuchsanordnung war folgende:

Mitten durch den Boden einer leichten Schachtel aus dünner Pappe *a* ging eine feine Metallröhre *b* (ein Stück einer feinen Spritzen-

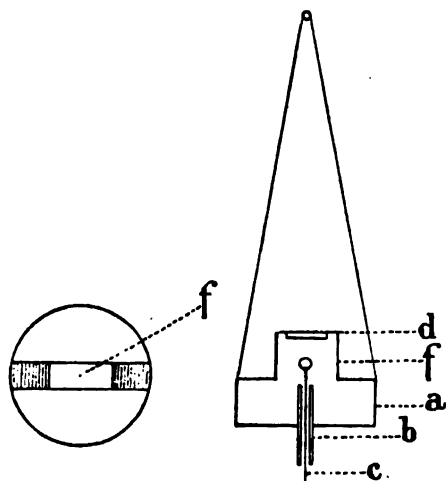


Fig. 5.

spitze), die mit Wachs an der Schachtel befestigt war und nach oben und unten hervorragte, wie die Fig. 5 es zeigt. Eine feine Nähnadel *c* (Nr. 10, sharp points) hing durch diese Röhre hinab, wurde aber durch einen Knopf von Siegellack am Hinabgleiten verhindert; der Knopf liess an dem obersten Theile der Nadel eine Metallfläche frei. $\frac{1}{3}$ cm oberhalb der Nadel war eine dünne Metalllamelle *d* an der Unterseite

einer über der Schachtel sich erhebenden Brücke f befestigt, welche letztere fest mit der Schachtel zusammenhing. Wenn die Nadel durch die Röhre hinaufglitt, stiess sie schliesslich gegen die Metalllamelle. Die Schachtel war mittels vier oben zusammengeknüpfter Fäden an einem Haken aufgehängt. Von dem obersten Theile der Nadel und von der Metalllamelle gingen ausserordentlich feine Messingdrähte aus so fein, dass sie das Gleiten der Nadel in der Röhre oder das Niedersetzen oder Aufheben der Schachtel nicht hinderten. Diese Drähte machten einen Theil der Stromleitung von einer Batterie aus. Der Strom wurde geschlossen, sobald die Nadel in die Höhe schoss und gegen die Lamelle stiess.

Der Haken hing an einem Hebelarm, der mit einer Feder in einer bestimmten Stellung gehalten wurde; ein Druck auf den Hebel senkte die Schachtel; hörte der Druck auf, erhob sie sich wieder. Durch diesen Hebel erhielten Senkung und Hebung des Apparates die nöthige Regelmässigkeit.

Wurde der Apparat auf die Haut aufgesetzt, so wurde diese zunächst von der Nadelspitze getroffen. Die Nadel glitt so leicht in ihrer Röhre und war so leicht (35^{mg}), dass keine Sensation dabei auftrat (auf der Dorsalseite der Hand). Erst wenn der Apparat noch weiter gesenkt wurde und die Nadel gegen die Metalllamelle stiess, und plötzlich das Gewicht der Schachtel, die manchmal noch besonders belastet war, zu tragen bekam, wirkte die Nadel als Reizmittel. In demselben Augenblicke wurde der Strom geschlossen. Die Sensationen wurden auf gewöhnliche Weise markirt.

Sicherlich hätte der Apparat unter Beibehaltung der hier angewandten Principien sehr verbessert werden können. Indessen hat er schon in dieser Form ziemlich gleichförmige Werthe gegeben.

Wenn die Belastung der Nadel 1.75^g betrug, so wurde auf gewissen Punkten eine frühe Berührungs- und eine späte Stichsensation erhalten; wurde die Nadel mit 5^g belastet, so wurden auf einer Reihe von Punkten die beiden stechenden Sensationen erhalten. Nur diese beiden Kategorien von Ergebnissen sind hier berücksichtigt, die oft sich einstellenden Ergebnisse anderer Art (siehe den oben gegebenen Bericht) weggelassen worden.

Das Ergebniss der Reactionsversuche (12 von jeder Art) war, dass die Reactionszeit für die erste Berührungsempfindung im Mittel 21 (überall sind hier hundertstel Secunden gemeint) — Min. 12, Max. 35 — betrug, wonach im Mittel 88 — Min. 80, Max. 103 — bis zur Reaction für die stechende Sensation verflossen. Die Reaction für die frühe Stichsensation wird im Mittel nach 18 (Min. 14, Max. 20) aus-

geführt, wonach bis zur Reaction für die zweite Stichsensation im Mittel 96 hundertstel Secunden (Min. 85, Max. 102) verfliessen.

• Diese Versuche sind allerdings nicht zahlreich, aber sie scheinen mir demungeachtet einige Schlüsse zuzulassen. Sie zeigen, worauf bereits die directe Beobachtung hindeutet, dass die bei schwacher Reizung allein auftretende Stichsensation in der zweiten der bei genügend starker Reizung auftretenden beiden Stichsensationen ihre Entsprechung hat. Sie zeigen ferner, dass der Zeitunterschied zwischen der frühen und der späten Sensation hier der gleiche ist wie bei thermischer Reizung. Der unbedeutenden Differenz, die der Zeitunterschied zwischen der frühen und der späten Sensation aufweist, je nachdem die frühe eine Berührungs- oder eine Stichsensation ist (88 bzw. 96), darf bei der geringen Zahl der Versuche kaum Bedeutung beigelegt werden.

5. Auftreten zweier stechender Empfindungen bei elektrischer Reizung.

Wie schon in der Einleitung erwähnt, haben Gad und Goldscheider eingehende Untersuchungen über das Verhalten der späten Schmerz sensation bei Anwendung von Inductionsschlägen in verschiedenem Rhythmus und verschiedener Zahl, wie auch über die Latenzzeit dabei angestellt. Sie haben dagegen keine Untersuchungen über das Verhalten des Phänomens bei besonders abgepasster punktförmiger Reizung angestellt, Untersuchungen, die mir für die richtige Deutung des Phänomens von grösstem Gewicht zu sein scheinen (siehe weiter unten); auch haben wir nicht die Verhältnisse bei Anwendung kurzdauernder constanter Ströme untersucht.

Die hier unten mitgetheilten Untersuchungen beziehen sich vor Allem auf diese von Gad und Goldscheider nicht untersuchten Verhältnisse.

Die Untersuchung wurde theils auf der Dorsalseite der Hand und der Finger, theils auf der Volarseite der Finger angestellt. Zumeist benutzte ich Hautstellen an den Fingern, weil dort applicirte elektrische Reize bei Vermehrung der Reizstärke nicht so bald störende Muskelzuckungen veranlassen.

Die eine Elektrode war indifferent und bestand aus einem grossen, mit angefeuchtetem Fliesspapier bedeckten Kupferblech; sie lag meistens der Innenfläche der Hand an. Die andere Elektrode bestand aus einer spitzen Nadel.

Bei den ersten Versuchen wurde die Nadel auf irgend eine Weise mit der Haut in Berührung gebracht. Ich fand indessen bald, dass je nach dem Druck, den die Nadel gegen die Haut ausübte, die Wir-

kung der Ströme ganz verschieden war. Es war ferner schwierig, während der Versuche mit wechselnder Reizstärke die Spitze der Nadel unverrückt auf derselben Stelle zu halten. Mit dem Apparate, wie er eben für die Erzeugung punktförmiger mechanischer Reizung beschrieben worden ist, konnte ich allerdings diese Schwierigkeiten recht gut überwinden. Die Nadel wurde nämlich bei dieser Anordnung mittels eines äusserst feinen Leitungsdrahtes in den Stromkreis eingeschaltet und diente so als Elektrode. Ich fand es jedoch bald am bequemsten, die Nadel in der Epidermis durch einen unbedeutenden langsamen Einstich in schräger Richtung zu fixiren, was meistens ohne jeden Schmerz geschehen konnte. Zuweilen gab es einen stechenden Schmerz, wenn die Nadel eben eingeführt wurde. Nie indessen durfte die Nadel anhaltenden brennenden Schmerz verursachen. War das der Fall, wurde eine neue Stelle gewählt. Da die Epidermis ein besonders schlechter Leiter ist, darf man wohl annehmen, dass die Ströme vor Allem von dem tiefstliegenden Punkte der Nadel, also der Spitze, aus ihren Weg suchten, und dass also der unter der Spitze liegende Punkt in erster Linie gereizt wurde. Wie dem auch sei, so müssen doch bei wiederholter Reizung, wenn die Nadel nicht aus ihrer Lage gebracht wird, dieselben Theile gereizt werden.

a) Einfache Inductionsschläge.

Bei den Versuchen mit einfachen Inductionsschlägen wurden folgende Resultate erhalten, sei es, dass nur Oeffnungs- oder Schliessungsinductionsschlag angewendet wurde, sei es, dass der active Pol Kathode oder Anode war.

Ging man von schwachen zu starken Inductionsschlägen über, so trat zuerst eine schwache Berührungsempfindung auf. Bei stärkeren Inductionsschlägen trat an der Stelle der Berührungssensation eine Schmerzempfindung auf, die also der oben beschriebenen augenblicklichen Schmerzseensation entsprach. Bei vermehrter Stärke verhielten sich die verschiedenen Punkte verschieden. Ich übergehe dabei völlig die eigenthümlich pickenden Empfindungen und eine bisweilen auftretende dumpfe Sensation, um mich nur an die stechende, brennende Sensation zu halten. Auf den meisten Punkten konnte man von der verzögerten Schmerzempfindung nichts merken, wie starke Inductionsschläge auch angewandt wurden. Auf anderen hingegen trat sie auf, meistens undeutlich und sehr schwach, auf einem und dem anderen Punkte, aber ziemlich selten, völlig deutlich, wenn auch relativ schwach im Verhältniss zu der ersten, die immer die stärkere war. Auch wenn man bis zu sehr starken Inductionsschlägen hinauf ging, war die späte

Sensation nicht so deutlich wie bei mechanischer oder thermischer Reizung.

Bei dieser Art von elektrischer Reizung zeigt sich also ein umgekehrtes Verhältniss betreffs des Auftretens der frühen und der späten Schmerz-sensation, im Vergleich mit dem Verhältniss bei thermischer und mechanischer Reizung, wo ja die späte Sensation schon bei schwächster Reizung auftritt.

Ich bin also bezüglich der Wirkung einfacher Inductionsschläge zu dem entgegengesetzten Resultate gekommen wie Gad und Goldscheider. Diese betonen auf das Bestimmteste, dass keine Andeutung einer Secundärempfindung bei einfachen Inductionsschlägen auftritt und haben ja auch ihre Deutung des Phänomens auf diese ihre Ansicht gegründet. „Für die Erklärung des Phänomens der secundären Empfindung ist nun von grundlegender Bedeutung, dass dieselbe vollkommen fehlt, wenn ein einzelner Oeffnungsschlag auf die Haut applicirt wird“ (1. S. 342). Ich möchte indessen bemerken, dass ich nicht finden kann, dass ihre Erklärung des Phänomens mit der Abwesenheit der Secundärempfindung bei einem einfachen Inductionsschlage steht oder fällt. Wenn ich (siehe unten) von ihrer Erklärung abweichen muss, so geschieht das aus anderen Gründen.

Die Ursache für diese Verschiedenheit der Resultate liegt vielleicht in der Art, wie die Elektroden applicirt werden. Bei jenen waren sie auf der Haut placirt, bei meinen Versuchen waren sie in die Haut eingestochen. In der That beobachtete ich das Phänomen völlig deutlich erst, seitdem ich diese Applicationsweise anwandte. Indessen habe ich eine Andeutung davon auch bei der ersteren verspürt. Die Elektroden bei Gad und Goldscheider waren nicht so spitz wie die meinen, und auch dieses wirkt auf das Auftreten der Erscheinung ein, wie ich bei Anwendung verschieden spitzer Elektroden gefunden habe. Die Erklärung liegt vermuthlich darin, dass bei gröberen Elektroden die brennende, stechende Sensation nicht so deutlich und so isolirt auftritt.

b) Serien von Inductionsschlägen.

Die Methode, die ich anwandte, um Serien von Inductionsschlägen von verschiedenem Rhythmus und verschiedener Zeitdauer zu erhalten, war principiell dieselbe wie die von Gad und Goldscheider angewandte.

Als ein für die Deutung unseres Phänomens wichtiges Resultat ergab sich hierbei, dass verschiedene Punkte sich ganz verschieden verhalten. Auf einigen Punkten wurde eine späte Stichsensation völlig

deutlich erhalten, auf anderen schwach, auf wieder anderen überhaupt nicht, während die primäre Sensation wohl in allen Fällen von gleicher Intensität war.

c) Kurzdauernde constante Ströme.

Die Dauer der Ströme wurde durch ein Pendel mit einem Stahl-drahtarm reguliert, welch letzterer beim Schwingen des Pendels in ein Quecksilbergefäß eintauchte und so den elektrischen Strom schloss. Durch Aenderung der Schlaganzahl des Pendels aus der Höhe des Quecksilbers konnte dem Strome eine Dauer von $\frac{1}{20}$ bis $\frac{2}{5}$ Secunde gegeben werden. Die Stromstärke wurde auf bekannte Weise durch Einschaltung von Widerständen in eine Nebenleitung und Anwendung einer wechselnden Zahl von Batterien geändert.

Sei es, dass man Kathode oder Anode als differenten Pol anwandte, so ergaben sich folgende Resultate. Ging man von schwachem zu starkem Strom über, so trat zunächst eine Berührungsempfindung auf. Wurde die Stromstärke vermehrt, so trat eine Stichsensation an der Stelle der Berührungsempfindung auf. Wurde die Stromstärke noch weiter vermehrt, so zeigten verschiedene Punkte verschiedenes Verhalten. Auf einigen trat die späte Empfindung überhaupt nicht auf, auf anderen trat sie schwach auf, auf wieder anderen besonders stark und deutlich.

Auf das Auftreten der doppelten Schmerzsensation schien hierbei die Zahl der an derselben Stelle angestellten Versuche, wie auch die Dauer des verwendeten Stromes einen gewissen Einfluss ausüben.

Wenn derselbe Punkt mehrere Male hinter einander mit derselben Stromstärke gereizt wurde, so geschah es nämlich, dass, wenn die Secundärempfindung die ersten Male überhaupt nicht oder nur schwach auftrat, sie nach wiederholter Reizung auftrat bzw. verstärkt wurde.

Auch die Dauer des Stromes erwies sich als von Einfluss in derselben Richtung, indem, wenn die späte Empfindung bei den kürzer dauernden Strömen überhaupt nicht oder nur schwach auftrat, sie auftrat bzw. verstärkt wurde, wenn der Strom länger dauerte.

6. Erklärungsversuch.

Wie soll man dieses Auftreten zweier Schmerzempfindungen bei einer einzigen momentanen Reizung erklären?

Verweilen wir zunächst bei den mechanischen und thermischen Reizen.

Es ist oben gesagt worden, dass, wenn man bei momentan wir-

kenden mechanischen und thermischen Reizen eben das Minimum perceptibile überschreitet, man nur die verzögerte Schmerz sensation erhält.

Wie ist diese Schmerz sensation zu Stande gekommen?

Man hat früher zu der Annahme geneigt, dass Schmerz auftritt, wenn der die Haut treffende Reiz so stark ist, dass die Haut beschädigt und der Nerv direct gereizt wird. Naunyn (3. S. 287) sagt z. B.: „Alle die Eingriffe, welche beim normalen Individuum Schmerz erzeugen, sind derart, dass man ihnen eine Einwirkung auf die Nerven-faser zutrauen darf, durch welche der organische Zustand dieser verändert wird.“

Bei näherem Studium der Sache hat man indessen gefunden, dass Schmerz durch so schwache Reize ausgelöst werden kann, dass ihnen eine directe Verletzung des Nerven nicht zugeschrieben werden kann, Reize, die zu schwach sind, um als allgemeine Nervenreize angesehen zu werden.

Um unter solchen Verhältnissen zu erklären, dass eine Nervenreizung zu Stande kommt, hat v. Frey (5. S. 261) die, wie mir scheint, recht annehmbare Ansicht ausgesprochen, dass das mechanische Reizmittel einen Zwischenprocess verursacht, wahrscheinlich einen solchen chemischer Natur. Möglich, dass eine Aenderung in der Concentration der Flüssigkeit bewirkt wird, die diese Nervenendigungen umgiebt, sei es so, dass Flüssigkeit geringeren osmotischen Druckes aus den Zellen des Rete Malpighii austritt, oder auf andere Weise, deren Ergebniss das wäre, dass das osmotische Gleichgewicht zwischen dem Nervenende und der es umgebenden Flüssigkeit geändert und der Nerv dadurch gereizt wird.

Wie es sich mit den näheren Einzelheiten auch verhalten möge, sehr wahrscheinlich ist also, dass die mechanische und thermische Reizung einen Zwischenprocess verursacht, der seinerseits die Nervenreizung vermittelt.

Die Bildungen, in denen dieser Zwischenprocess sich abspielt, können vom physiologischen Gesichtspunkte die Endorgane der betreffenden Nervenfasern genannt werden, besonders wenn sie — was jedoch nicht wahrscheinlich ist — durch in Verbindung mit dem Nerv stehende und ausschliesslich ihm zugehörige morphologische Bildungen, also Endorgane im histologischen Sinne, repräsentirt werden, aber auch wenn sie nur in einer Strukturdifferenzirung im Nervenende selbst bestehen, oder auch wenn sie nur durch die specielle Lage der Nervenenden repräsentirt werden, welche die Entstehung einer Reizung des Nerven nach sich ziehenden Zwischenprocesses bedingen kann (siehe Thunberg 8. S. 420). Man kann also vom physiologischen Stand-

punkte aus sagen, dass die betreffenden Nerven Endorgane besitzen, die die Empfindlichkeit also für diese schwachen mechanischen und thermischen Reize bedingen, eine Empfindlichkeit, die möglicher Weise als auf dem Wege der Anpassung entstanden gedacht werden kann, da ja diese Reize primär im Leben des Individuums vorkommen und ein Vermeiden derselben wohl manchmal nützlich erscheinen könnte.

Die Nervenenden zeigen nun für diese schwachen thermischen und mechanischen Reize, wie aus diesen Untersuchungen sich ergeben hat, eine bei momentaner Reizung ihrer Dauer nach bestimmte, ziemlich lange Latenzzeit. Die Sensation wird also bei diesen schwachen Reizen verzögert.

Wenn der Reiz eine gewisse Stärke überschreitet, wird nun, wie diese Untersuchungen gezeigt haben, ganz plötzlich die Reactionszeit verkürzt, und die Schmerz-sensation kommt augenblicklich.

Ich halte es für sehr wahrscheinlich, dass dieses geschieht, sobald der Reiz eine solche Stärke erreicht hat, dass er direct reizend auf den Nerv oder das Nervenende wirkt, ohne dass ein Zwischenprocess nöthig ist, weshalb hier die Apperceptionszeit der Sensation um die Zeit für den Zwischenprocess vermindert wird.

Indessen ist zuzugeben, dass ein strenger Beweis nicht dafür vorliegt, dass diese Verkürzung der Apperceptionszeit sich gerade dann einstellt, wenn der Reiz die Grenze zum allgemeinen Nervenreiz passirt hat.

Die Werthe, die betreffs der Reizbarkeit von Nerven gegenüber mechanischen Reizen gefunden worden sind, lassen keinen Vergleich mit denen zu, die ich als Minimalwerthe für die Hervorrufung der augenblicklichen Sensation erhalten habe. Auch sind keine Bestimmungen vorhanden bezüglich der geringsten Wärmemengen, durch die ein Nerv gereizt wird.

In Uebereinstimmung mit dieser Deutung der Entstehung der augenblicklichen Sensation steht indessen der Umstand, dass sie nicht an die empfindlichsten Punkte der Haut gebunden ist, sondern auch auf zwischen diesen liegenden Punkten, wo überhaupt Schmerz ausgelöst werden kann, auftritt.

Aber auch der kräftig wirkende Reiz verursacht noch weiter den Zwischenprocess, falls er das Endorgan trifft oder möglicher Weise die Verhältnisse verändert, unter denen die Nervenenden sich befinden, und der Zwischenprocess veranlasst nach einer Weile eine neue Empfindung. Wirkte der angewandte Reiz momentan und war er nicht allzu stark, so dass die erste Empfindung verschwunden ist, wenn die

zweite auftritt, so erhält man also zwei Sensationen, trotzdem der Reiz nur der eine war.

Zu dieser Deutung stimmt auch die Thatsache, dass die doppelte Sensation nur von eben den empfindlichsten Punkten, also vermuthlich von den Schmerzorganen erhalten werden kann.

Bei Anwendung einzelner Inductionsschläge hat die frühe Empfindung das niedrigste Minimum perceptibile. Erst bei starker Reizung kommt auf gewissen Punkten eine verzögerte Sensation. Wenn man von der eben gegebenen Annahme ausgeht, dass nämlich die frühe Sensation durch directe Nervenreizung, die verzögerte durch einen durch den Reiz verursachten Zwischenprocess bedingt ist, muss diese Thatsache so gedeutet werden, dass der Inductionsschlag kräftig reizend auf den Nervenfaden selbst wirkt, aber ein sehr geringes Vermögen hat, den Zwischenprocess auszulösen.

Die von Gad und Goldscheider nachgewiesene Thatsache, dass die späte Sensation deutlich bei Anwendung mehrerer Inductionsschläge in gewissem, geeignetem Rhythmus auftritt, sowie auch die Thatsache, dass sie sehr deutlich ist bei Anwendung constanter Ströme, muss consequenter Weise so gedeutet werden, dass der Zwischenprocess durch diese Reizmittel leicht ausgelöst wird.

Dass der langsam verlaufende Zwischenprocess leichter von langsam oder eine längere Zeit hindurch wirkenden Reizen ausgelöst wird, bietet ja nichts Erstaunliches angesichts der sonstigen Erfahrungen über die Entsprechung, die zwischen dem Zeitverlauf des in einem reizbaren Organ ausgelösten Processes und der Dauer des diesen Process optimal hervorruufenden Reizes besteht, und es scheint mir, dass man von diesem Gesichtspunkte aus die Resultate betrachten muss, die Gad und Goldscheider bezüglich der geeigneten Weise erhalten haben, mit Inductionsschlägen verschiedener Zahl und verschiedenem Rhythmus die spätere Sensation hervorzurufen.

Diese Erklärung sieht also in den zwei bei einer einzigen momentanen Reizung auftretenden Stichschmerzempfindungen eine peripherisch bedingte Erscheinung im Gegensatze zu Gad und Goldscheider's Deutung der von ihnen studirten verwandten Erscheinung. Was mir vor Allem gegen deren Deutung zu sprechen scheint, ist der Umstand, dass gewisse Punkte auf der Haut nur die frühe Sensation auch bei Anwendung einer Serie von Inductionsschlägen auslöst.

Handelte es sich um eine Summirung im Rückenmark, so müsste die späte Sensation von allen Punkten des Nervenweges ebenso gut wie von den Nervenenden selbst aus hervorgerufen werden können, da ja durch geeignet abgepasste Reizung der von einem gewissen

Punkte des Nerven nach dem Rückenmark aufwärtsgehende Nervenprocess müsste identisch gemacht werden können mit dem von den Nervenenden (Endorganen) selbst ausgelöst.

Die einzige Einwendung, die, wie mir scheint, gegen dieses Raisonnement erhoben werden könnte, müsste von der Annahme besonderer Endorgane für die Schmerznervenenden in oben definierter Bedeutung ausgehen und weiter voraussetzen, dass der durch diese Endorgane vermittelte Nervenprocess so besonders geartet ist, dass nur er Summirung im Rückenmark bewirken kann.

Von einem solchen Standpunkte aus kann man gegen obiges Raisonnement Folgendes einwenden:

Ein Beweis ist nicht dafür erbracht worden, dass die aufwärtsgehenden Nervenprocesses, die von den unter den weniger empfindlichen Hautpunkten liegenden undifferenzirten Nervenfäden durch die in diesen Versuchen angewandten Reize ausgelöst werden, identisch mit den von den Endorganen ausgehenden Nervenprocessen sind. Es ist im Gegentheil zu vermuthen, dass die Endorgane, wenn sie gereizt werden, mit Nervenprocessen von bestimmtem Rhythmus und bestimmtem Zeitverlauf antworten, wie sie mit den auf die Nerven applicirten Inductionsströmen nicht erreicht worden sind; es ist sehr wahrscheinlich, dass die Endorgane analoge Verhältnisse mit den motorischen Zellen im Vorderhorn des Rückenmarks zeigen, die ja auf einen einzigen Reiz mit einer Serie von Nervenprocessen antworten, und dass die zu den Schmerzendorganen gehörenden Zellen im Rückenmark für den Rhythmus der von den Schmerzendorganen ausgelösten Nervenprocesses auf dieselbe Weise abgepasst sind wie die Muskeln für die zugehörigen Ganglienzellen.

Erst wenn man den Rhythmus und Zeitverlauf der von den Endorganen aufwärtsgehenden Nervenprocesses studirt und eine Methode gefunden hat, von den Nervenfäden selbst aus eine gleichartige aufwärtsgehende Reizung zu bewirken, und wenn dabei sich herausgestellt hat, dass die späte Empfindung ausbleibt, erst dann kann man sagen, es sei unmöglich, dass die späte Empfindung auf einer Summirung im Rückenmark beruht.

Einem solchen Einwurf gegenüber lässt sich indessen entgegen, dass die Verschiedenheit zwischen den von dem Endorgan ausgelösten aufwärtsgehenden Nervenprocessen und den von Stellen der Nervenbahn durch die hier angewandten Reizmittel, die doch mechanische Reizung, Inductionsschläge von verschiedenem Rhythmus und constante elektrische Ströme umfassen, ausgelösten Nervenprocessen kaum so gross

gedacht werden kann, dass in dem einen Falle eine Summation in den Zellen im Rückenmark stattfinden sollte, in dem anderen Falle nicht.

Weiter mag bemerkt werden, dass damit, dass die Hypothese von einer Summierung im Rückenmark sich ausserdem auf die Annahme besonderer Endorgane (in oben definirtem Sinne) stützen muss, diese Hypothese ihre erklärende Bedeutung verliert, da ja diese Annahme von Endorganen mit einer bestimmten Latenzzeit schon allein auf einfache Weise das Phänomen der doppelten Schmerzensation erklärt.

Der Vorschlag zur Deutung des Phänomens, den ich in einer früheren Arbeit gegeben — bei schwacher Reizung sollten nur oberflächliche, bei stärkerer Reizung auch tiefere Endorgane getroffen werden — war ausschliesslich gemacht worden, um das Phänomen bei thermischer Reizung zu erklären. Es ist ja klar, dass das Auftreten desselben auch bei momentaner mechanischer Oberflächenreizung — was ich damals noch nicht wusste —, wo ja verschieden tief liegende Endorgane gleichzeitig afficirt werden müssen, ein Festhalten an dieser Erklärung unmöglich macht.

Will man noch weiter an der Ansicht festhalten, dass die beiden Sensationen durch verschiedene nervöse Bildungen vermittelt werden, so muss man, anstatt den Hauptunterschied zwischen ihnen in einer verschieden tiefen Lage zu sehen, ihnen verschiedene Reizbarkeit zuschreiben, die reizbareren mit langer, die weniger empfindlichen ohne nennenswerthe Latenzzeit. Da indessen bei feiner punktförmiger Reizung die beiden Sensationen an demselben Punkte häufig auftreten, ist es wahrscheinlicher, dass dieselbe nervöse Bildung sie vermittelt.

Der Hauptinhalt unserer Erklärung ist also der, dass die freien Nervenenden besonders empfindlich für schwache thermische und mechanische Reize sind, aber mit langer Latenzzeit reagiren. Bei directer Nervenreizung fällt die Latenzzeit fort. Gleichzeitige Reizung auf diesen beiden Wegen bedingt die doppelte Schmerzensation.

Bei dem Bericht über mechanische Reizung ist erwähnt worden, dass bei starker Reizung eines Schmerzpunktes es bisweilen geschieht, dass die bei schwacher Reizung auftretende verzögerte Sensation schwächer ist oder fortfällt und nur die augenblickliche übrig bleibt. Vielleicht kann dies in manchen Fällen darauf beruhen, dass, trotzdem die Methode darnach hinstrebte, die Nadel doch nicht alle Mal denselben Punkt, den Schmerzpunkt, traf. Wahrscheinlich hat jedoch in anderen Fällen der mechanische Insult auf irgend eine Weise den Mechanismus des Processes gestört, der die verzögerte Sensation hervorruft; dafür spricht, dass auch bei starker flächenförmiger mecha-

nischer Reizung die verzögerte Sensation schwächer werden oder fort-fallen kann.

Gegen meine Deutung des Phänomens der doppelten Schmerz-sensation hat Alrutz in einer vor Kurzem in schwedischer Sprache er-schienenen Abhandlung (21. S. 90) verschiedene Einwendungen erhoben. Ich weiss allerdings nicht, ob sie in einer eventuellen Uebersetzung beibehalten werden würden, da sie aber zum Theil naheliegende Ein-wände darstellen, glaube ich doch, dass eine Erörterung derselben zu einem näheren Verständniss der Frage beitragen kann.

Alrutz stellt die Ansicht auf, dass die frühe und späte Schmerz-sensation von verschiedenen Nerven ausgelöst werden, die erstere von den eigentlichen Schmerznerven, die letztere von Nerven, deren spe-cifische Energie darin besteht, juckende Sensationen auszulösen. Die Gründe, die er für diese seine Ansicht anführt, sind folgende, der Uebersichtlichkeit wegen hier numerirt:

1. Schon der Umstand, dass er nicht die Identität der Punkte, die die frühe und die späte Sensation auslösen, constatiren konnte, macht es ihm wahrscheinlich, dass die frühe stechende und die späte juckende durch verschiedene Nerven vermittelt werden.

2. Die frühen Sensationen sind wenigstens auf gut entwickelter Haut, auch wenn sie noch so schwach sind, wirkliche Stichsensationen und sind ausserdem gut localisirt und distinct. Die schwächste späte Sensation hat dagegen einen rein juckenden, an gewissen Stellen je-doch mehr kitzelnden Charakter und wird erst bei stärkerer Reizung daneben stichartig. Sie ist diffus, irradiirend und unzweifelhaft un-angenehm.

3. Die beiden Sensationen besitzen sowohl verschiedene Latenz-zeit, wie auch verschiedene Reizschwellen.

4. Es erscheint wenig annehmbar, dass der thermische und der mechanische Reiz genau dieselbe Zeit brauchen sollte, um in chemischen Reiz umgesetzt zu werden. Diese Annahme wäre jedoch nothwendig, weil nach Thunberg der Unterschied der Reactionszeiten für die frühe und die späte Empfindung derselbe (0.9 Secunden) für diese beiden Reizmittel ist.

5. Es ist ferner wahrscheinlich, dass die frühe Empfindung von einem entwickelteren und differenzirteren Organ ausgelöst wird. Denn der Stich tritt schneller auf und sein Verschwinden fällt mehr mit dem Zeitpunkte zusammen, da die Wirkung des Reizes aufhört, als es bei der juckenden späten Sensation der Fall ist; sie ist ferner distincter und besser localisirt als die späte, und endlich kann das Sensations-

moment leichter von dem Gefühlsmoment unterschieden werden bei der frühen als bei der späten Sensation.

Gegen diese von Alrutz angeführten Gründe ist Folgendes zu bemerken:

1. Die hier erwähnten Thatsachen lassen sich auch unter Beibehaltung meiner Auffassung erklären. Dass gewisse Punkte nur die frühe Empfindung geben, erklärt sich ja leicht daraus, dass nur der Nerv getroffen wird; schwieriger kann es scheinen, eine Erklärung dafür zu geben, dass man auf gewissen Punkten nur die späte Sensation erhält. Ein paar Erklärungsmöglichkeiten finden sich jedoch hierfür. Vielleicht löst das eventuell differenzirte Nervenende nur die späte Empfindung aus; oder auch ist es bei punktförmiger mechanischer Reizung schwer, das unbedeutende Nervenende selbst mechanisch zu reizen, während Veränderungen um dasselbe herum, die dann die späte Sensation hervorrufen, leicht zu bewirken sind. Welche dieser Erklärungsmöglichkeiten die wahrscheinlichste ist, will ich dahingestellt sein lassen. Hält man sich indessen an die erstere, so kann die Existenz von Punkten, von denen beide Sensationen ausgelöst werden, so erklärt werden, dass unter diesen sowohl Nerv als Nervenendorgan getroffen werden; bei Annahme der anderen Möglichkeit erklärt sich das Auftreten dadurch, dass in diesem Falle des Nervenende auch direct gereizt wird.

2. Ich kann nicht die Richtigkeit der Behauptung zugeben, dass die späte Sensation vor Allem durch ihren juckenden Charakter sich auszeichnet. Es ist allerdings wahr, dass sie bisweilen juckend ist, oder vielleicht besser gesagt, dass sie sich in einer mehr oder weniger hingezogenen juckenden Sensation fortsetzt, in anderen Fällen aber ist sie völlig identisch mit der frühen. Dieser juckende Charakter der späten Sensation tritt, wie Alrutz angiebt, vor Allem bei punktförmiger mechanischer Reizung und bisweilen bei eben solcher thermischen Reizung hervor, obwohl möglicher Weise im letzteren Falle man sich besser so ausdrückt, dass die Nachsensation schwach brennend ist. In anderen Fällen aber gleicht die späte Sensation nicht mehr Jucken als die frühe es thut. Verhielte es sich nun, wie Alrutz es sich vorstellt, dass die späte Sensation von Nerven ausgelöst wird, deren specifische Energie es ist, juckende Sensationen auszulösen, so hätte man rechtmässig zu erwarten, dass die späte Sensation unter allen Umständen, wie immer sie auch hervorgerufen worden, den Charakter des Juckens besäße. Sie müsste von schwachem Jucken bei starker Reizung in starkes Jucken übergehen. Und die

voransgesetzte Verschiedenheit der specifischen Energie müsste unter allen Verhältnissen bestehen. Das ist aber nicht der Fall. Es ist z. B. bei etwas stärkerer flächenförmiger thermischer Reizung nicht schwer zu beobachten, dass die frühe und die späte Sensation ihrem Charakter nach völlig mit einander identisch sind. Eben dieser Umstand, dass die beiden Sensationen, wenn sie am deutlichsten sind, mit einander völlig identisch sein können, ergiebt, dass ein Unterschied in der specifischen Energie bei den sie hervorruhenden Nerven nicht gedacht werden kann.

Für die bisweilen auftretende Verschiedenheit im Charakter scheint mir statt dessen eine Erklärungsmöglichkeit in der oben erwähnten Annahme zu bestehen, dass die frühe Sensation durch directe Nervenreizung, die späte durch Reizung der Endorgane (in oben verwendetem Sinne) ausgelöst wird, wenn man nämlich zu dieser Annahme die weitere hinzufügt, dass die Endorgane nicht nur einen einzigen aufwärtsgehenden Nervenprocess, sondern eine Serie solcher von bestimmtem Rhythmus und Zeitverlauf auslösen, auf die also die zugehörigen Ganglienzellen im Rückenmark, die normaler Weise von ihnen getroffen werden, eingestellt sind — eine Annahme, die mir nicht unwahrscheinlich vorkommt, wenn sie auch nicht bewiesen ist.

Bei dieser Annahme erklärt sich leicht der oft „vollere“ Charakter der späten Empfindung verglichen mit der frühen, wozu letztere ja z. B. bei mechanischer Nervenreizung wohl häufig von einer einzigen solchen hervorgerufen wird.

In demselben Umstande kann man auch die Erklärung für den bisweilen auftretenden juckenden Charakter der späten Empfindung suchen. Es ist meines Erachtens wahrscheinlich, dass dieser Charakter, wenn man von seinem unbehaglichen Gefühlston absieht, eben durch den hingezogenen Verlauf der Sensation — jeder kleinste Zeitwerth der juckenden Sensation ist eine Stichsensation — ihre Irradiation und Tendenz, Reflexe auszulösen, constituirt wird. Dass Irradiation und Reflex Tendenz sich gerade bei der Empfindung zeigen, die dem rhythmischen Nervenprocess folgt, auf den die Ganglienzellen eingestellt sind, und nicht bei der, die einem einzigen Nervenprocess entspricht, schliesst nichts Unmögliches in sich.

Es ist nicht meine Absicht zu behaupten, dass durch die hier gemachten Annahmen alle Schwierigkeiten beseitigt seien, ich glaube im Gegentheil, dass noch Vieles übrig bleibt. Weshalb verschwindet z. B. der juckende Charakter bei vermehrter Reizung, wenn er auf Irradiation der Reizung und dadurch bewirkter Reflex Tendenz beruhen soll? Irradiation und Reflexe werden ja wohl bei vermehrter Reizung nicht

geringer? Ohne eingehende Untersuchungen können diese und andere hierher gehörige Fragen nicht beantwortet werden. Aber ehe die verschiedenen Erklärungsmöglichkeiten untersucht sind, hat man kein Recht, bestimmte Schlüsse betreffs der Existenz besonderer Nervenarten zu ziehen, sei es für die späten Stichsensationen und für die juckenden Empfindungen, oder allein für die letztgenannte Empfindungsqualität, auch wenn eine solche Annahme mehrerer Variablen bis auf Weiteres die Erklärung etwas erleichtern kann.

[Auch Alrutz' Beweis dafür, dass die Kitzelempfindungen durch dieselben Nerven vermittelt werden wie die späte Schmerz sensation und die juckenden Empfindungen, erscheinen mir nicht genügend. Noch scheint mir kein bestimmt entscheidender Grund gegen die Annahme vorzuliegen, dass die Kitzelempfindungen durch die Berührungs-(Druck)-Nerven ausgelöst werden; dieselben Möglichkeiten, wie sie oben für die Erklärung des besonderen Charakters der juckenden Empfindungen vorgebracht worden, scheinen mir auch für die Erklärung der Kitzelempfindungen in Betracht zu kommen.]

4. Was diesen Grund betrifft, so scheint es mir ganz natürlich, dass die späte Empfindung dieselbe Latenzzeit bei momentaner mechanischer, wie bei thermischer Reizung hat. Die Latenzzeit hängt ja von der Dauer des Zwischenprocesses ab, der in beiden Fällen identisch sein dürfte, und das Reizmittel wirkt ja nur als auslösende Ursache.

3. und 5. Die aus diesen Gründen angeführten That sachen vertragen sich in allen Einzelheiten mit meiner Hypothese und können also nicht als Gründe gegen dieselbe verwendet werden.

Fasse ich also meine Gründe gegen Alrutz zusammen, so finde ich vor Allem, dass er auf den Umstand, dass die frühe oder späte Sensation völlig mit einander identisch sein können, keine Rücksicht genommen, oder jedenfalls seine Bedeutung nicht genügend gewürdigt hat. Und unter solchen Verhältnissen vorauszusetzen, dass sie von Nerven mit verschiedenen specifischen Energien ausgelöst werden, erscheint mir unrichtig. Sollte man also aus anderen Gründen zu der Annahme verschiedener Nerven gezwungen werden, so können ihnen keinesfalls verschiedene specifische Sinnesenergien zugeschrieben werden. Ein hinreichender Grund aber für die eigenthümliche beinahe einzig dastehende Annahme, dass ein und dieselbe Empfindung auf derselben Hautstelle von zwei verschiedenen Arten von Nerven ausgelöst werden, scheint mir nicht vorzuliegen.

Litteratur.

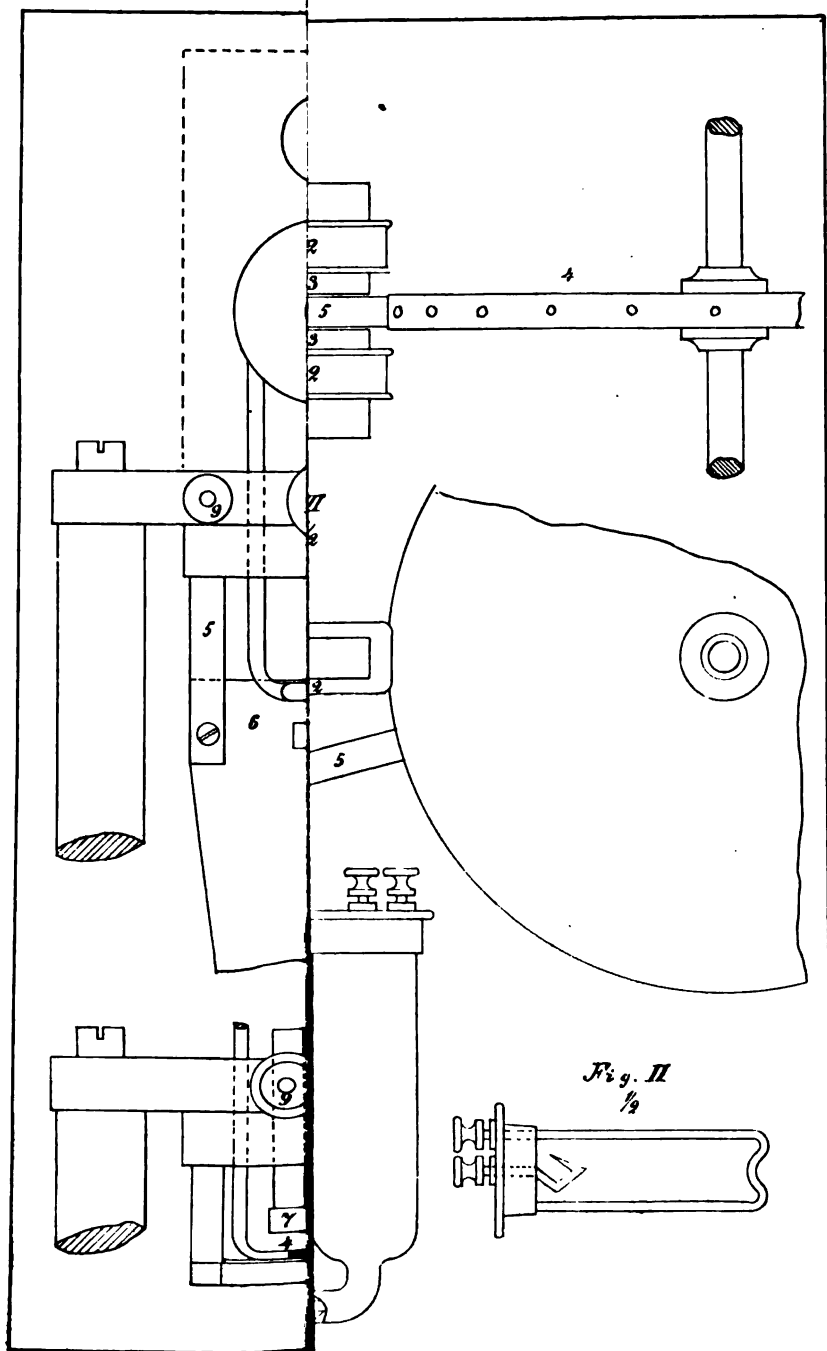
1. Thunberg, Bidrag till kännedom om hudsinnenas fysiologi. I. Ny metod för undersökning af hudens temperatursinnen och smärtsinne. *Upsala Läkarefören's förh.* 1894 bis 1895. Bd. XXX. S. 521 bis 547.
2. Goldscheider, *Gesammelte Abhandlungen.* Leipzig 1898. Bd. I.
3. Naunyn, Ueber die Auslösung von Schmerzempfindung durch Summation sich zeitlich folgender sensiblen Erregungen. *Archiv f. exper. Pathol. u. Pharmacol.* 1889. Bd. XXV.
4. Rosenbach, Ueber die unter physiol. Verhältnissen zu beobachtende Verlangsamung der Leitung von Schmerzempfindung von thermischen Reizen. *Deutsche med. Wochenschr.* 1884.
5. v. Frey, *Untersuch. über die Sinnesfunctionen d. menschlichen Haut.* Erste Abhandlung: Druckempfindung und Schmerz. Leipzig 1896.
6. Grützner, Ueber die chemische Reizung sensibler Nerven. *Pflüger's Archiv.* 1894. Bd. LVIII. S. 89 bis 105.
7. Thunberg, Bidrag till kännedom om hudsinnenas fysiologi. II. Studie öfver adaptationsfenomen. *Upsala Läkaref. förh.* Bd. XXX. 1894 bis 1895.
8. Thunberg, Unters. über d. relat. Tiefenlage d. kälte-, wärme- und schmerzpercipir. Nervenenden u. s. w. *Dies Archiv.* Bd. XI. S. 382 bis 435.
9. v. Vintschgau und Steinach, Zeitmessende Versuche über d. Temperatur- und Drucksinn. *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1888. Bd. XLIII.
10. Tanzi, *Riv. di fren.* XVI. (cit. nach Dessoir 11 S. 317).
11. Dessoir, Ueber den Hautsinn. *Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth.* 1892.
12. Tigerstedt und Bergqvist, Zur Kenntniss der Apperceptionsdauer zusammengesetzter Gesichtsvorstellungen. *Zeitschr. f. Biologie.* Neue Folge. 1888. Bd. I.
13. Björnström, Algesimetrie. Eine neue einfache Methode zur Prüfung der Hautsensibilität. *Nova acta reg. soc. scient. Ups.* Festband. Upsala 1877.
14. Schlesinger, *Die Syringomyelie.* Wien und Leipzig. 1895.
15. Buch, Ein neuer Algesimeter. *St. Petersb. med. Wochenschr.* 1891.
16. Ders., Ueber Algesimetrie. Ebendas. 1892.
17. Motschutkowsky, Ein Apparat zur Prüfung der Schmerzempfind. Der Hautalgesimeter. *Neurol. Centralblatt.* 1895. 4 (cit. nach *Centralbl. für Psych. u. Nervenheilk.* 1895. S. 586).
18. *L'année psychologique.* 1896. S. 83 u. 438.
19. Blix, Experim. bidrag till lösning af frågan om hudnervernas specifika energi. *Upsala Läkaref. förhandl.* 1882 bis 1883. S. 427 bis 440.
20. Thunberg, v. Frey's metod för undersökning af hudens tryckpunkter. *Upsala Läkaref. förh.* 1895 bis 1896. Bd. I.
21. Alrutz, *Undersökningar öfver smärtsinnet.* Upsala 1901.

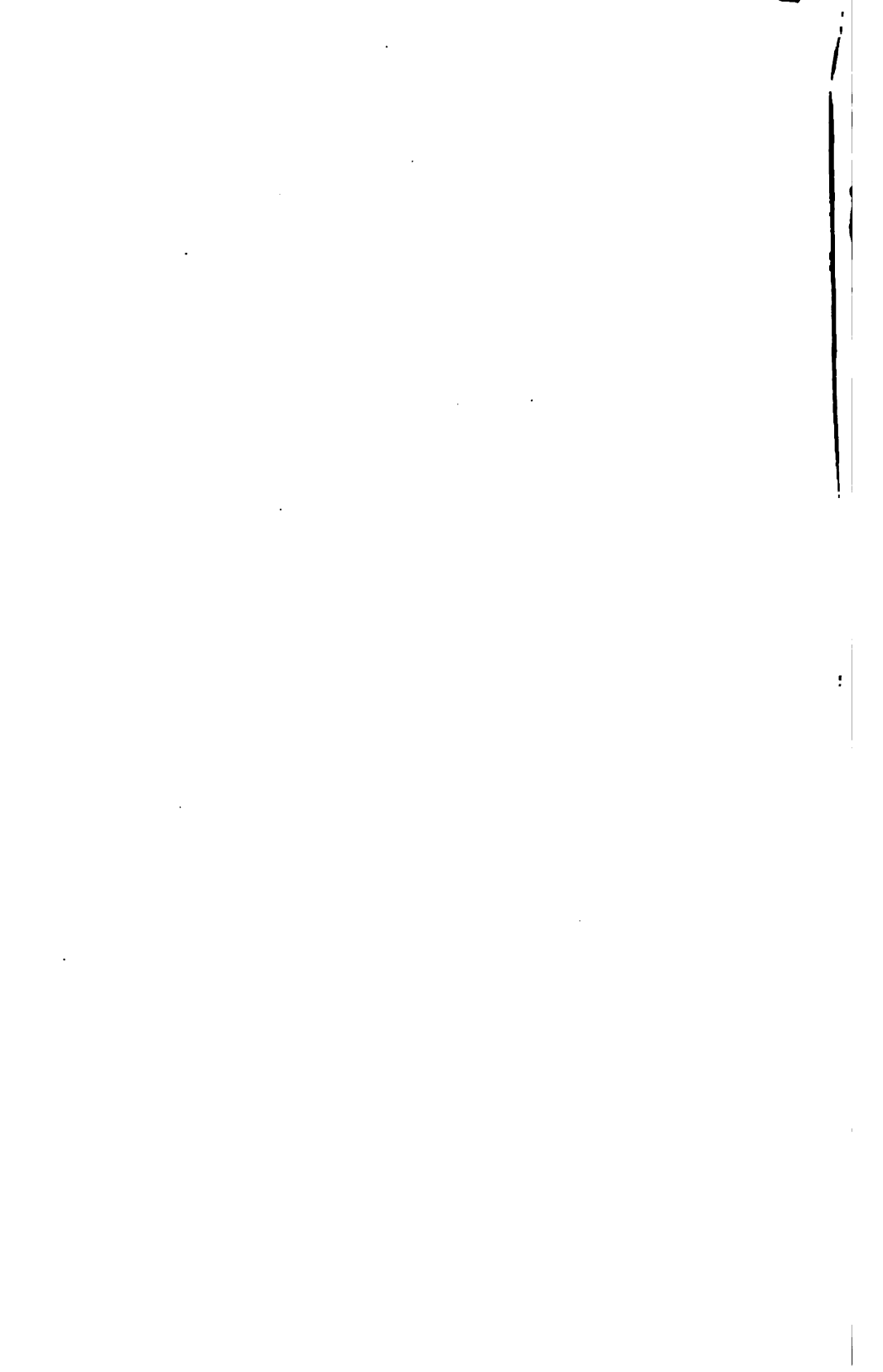
Berichtigungen.

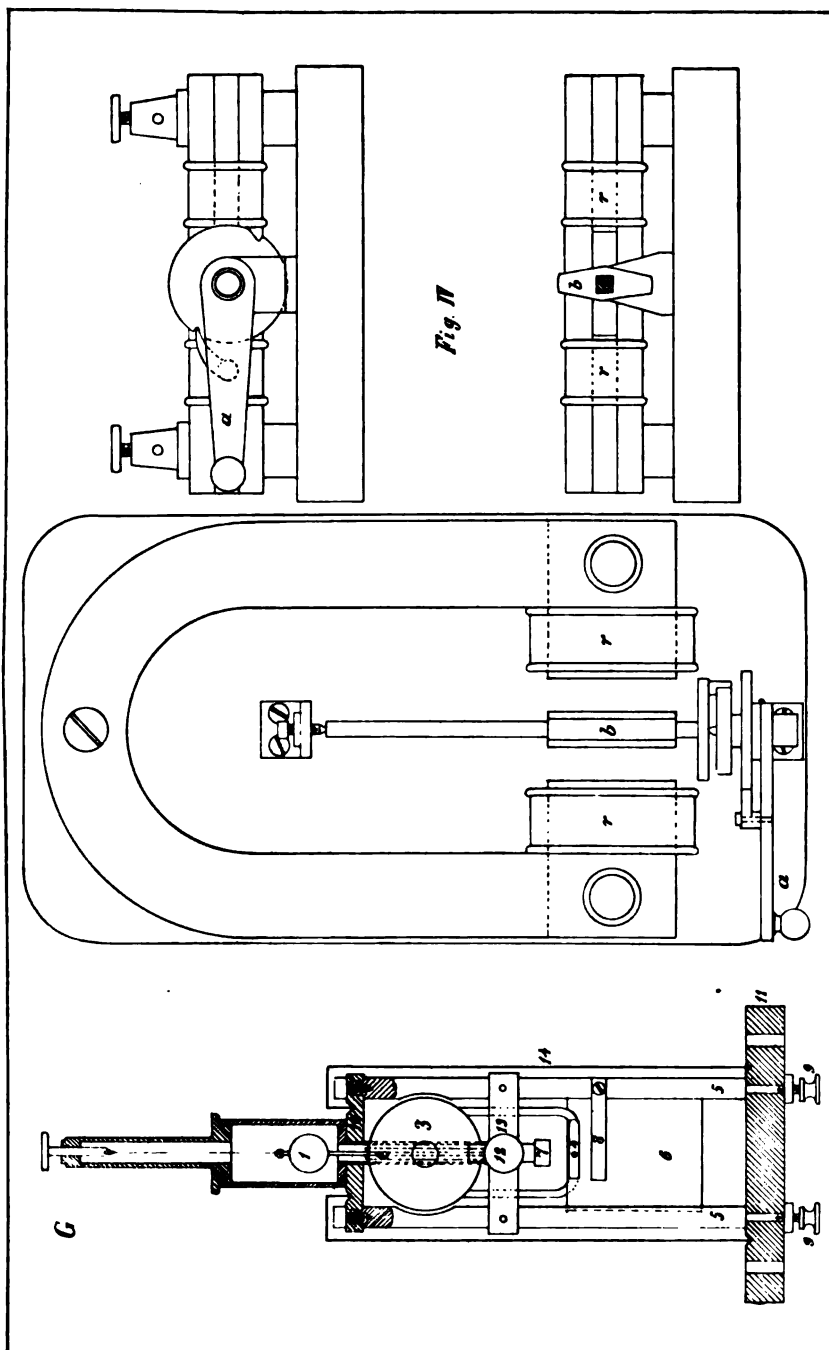
S. 132 Z. 2 v. u. statt: derselben lies: desselben.

„ 138 „ 14 „ „ „ $\sin \psi$ „ $\cos \psi$.

„ 144 „ 3 „ „ „ also eine „ also q_1 eine.







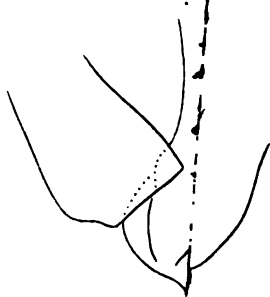


Fig. 12.

Fig. 11.

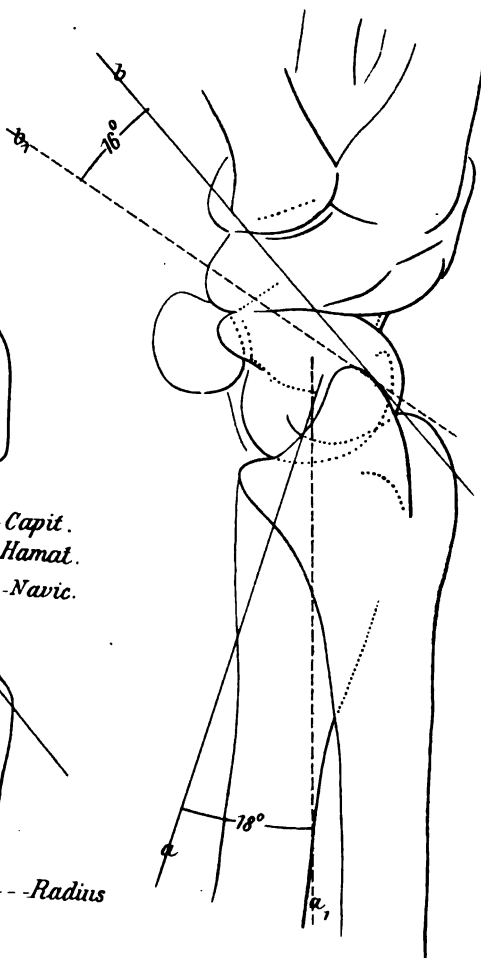


Fig. 9.

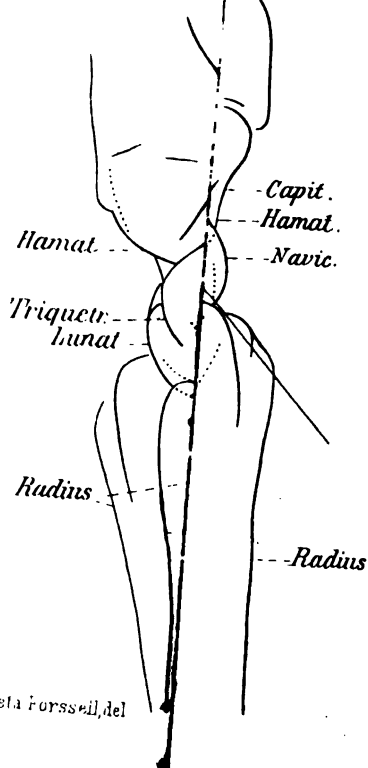


Fig. 14.

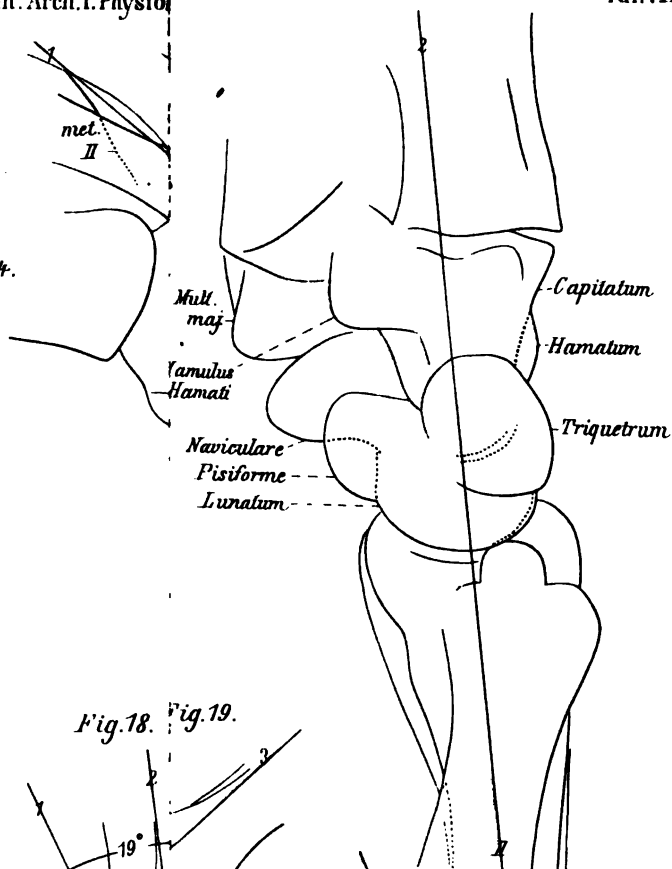


Fig. 18. Fig. 19.

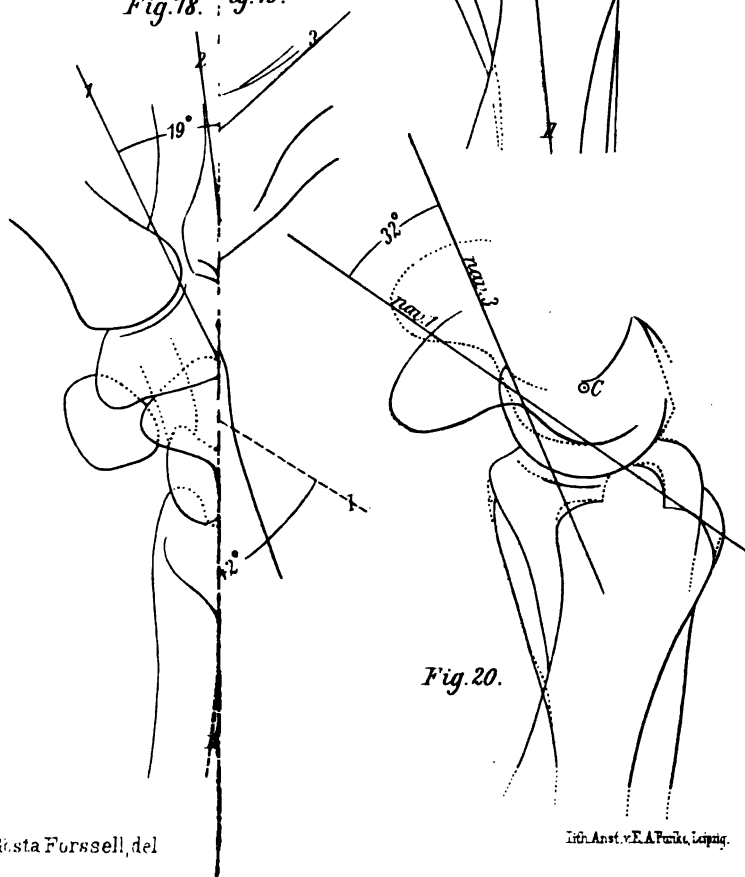
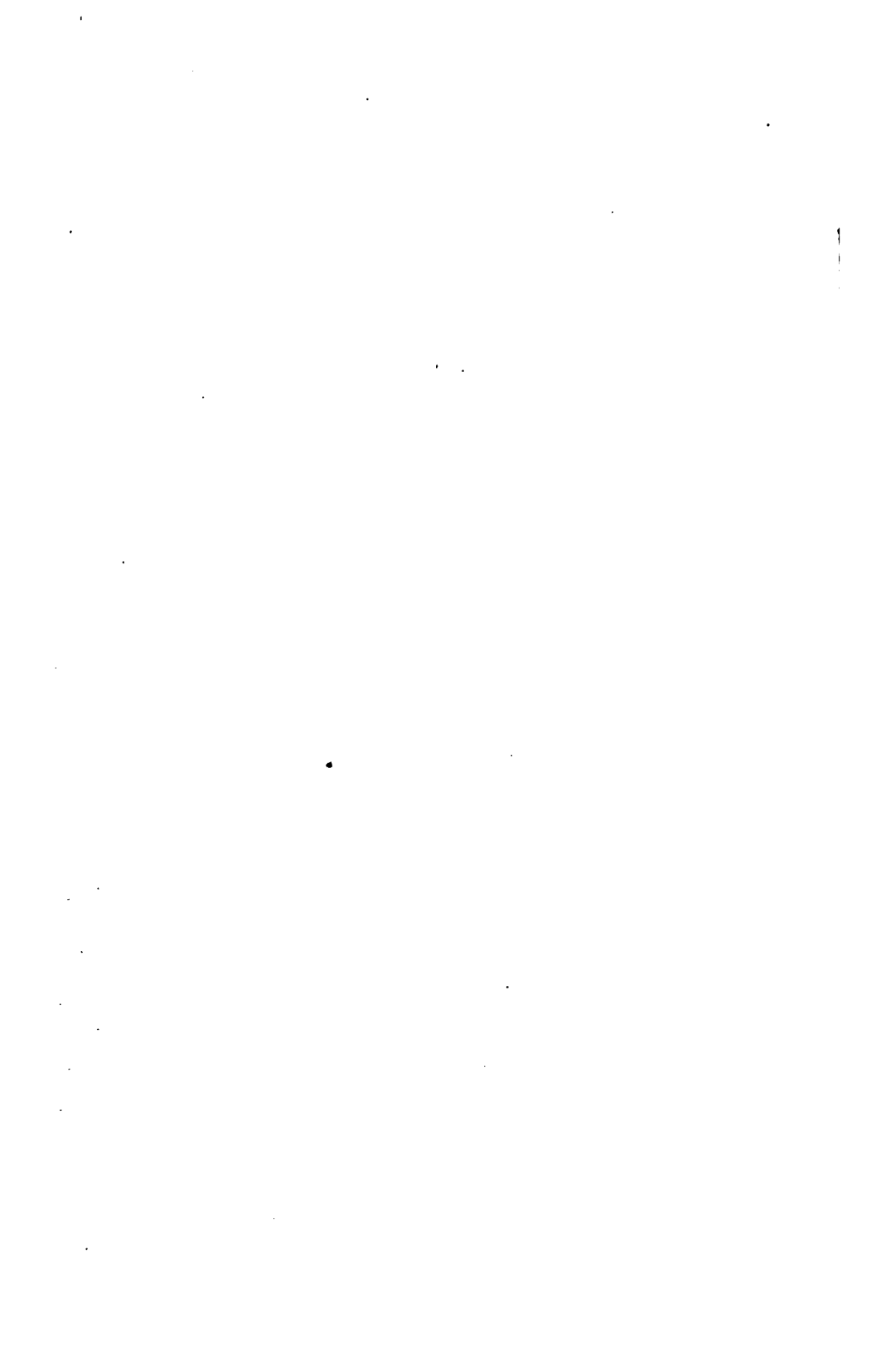


Fig. 20.



1^a



1^c



1^g



2^a



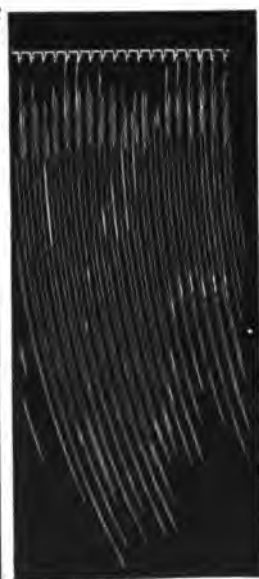
2^c



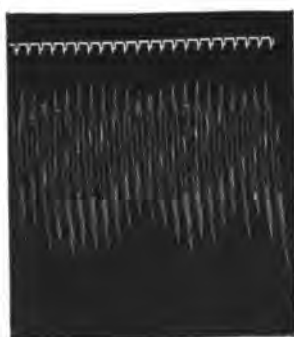
2^d



3^c



3^e



2^h



3f



4a

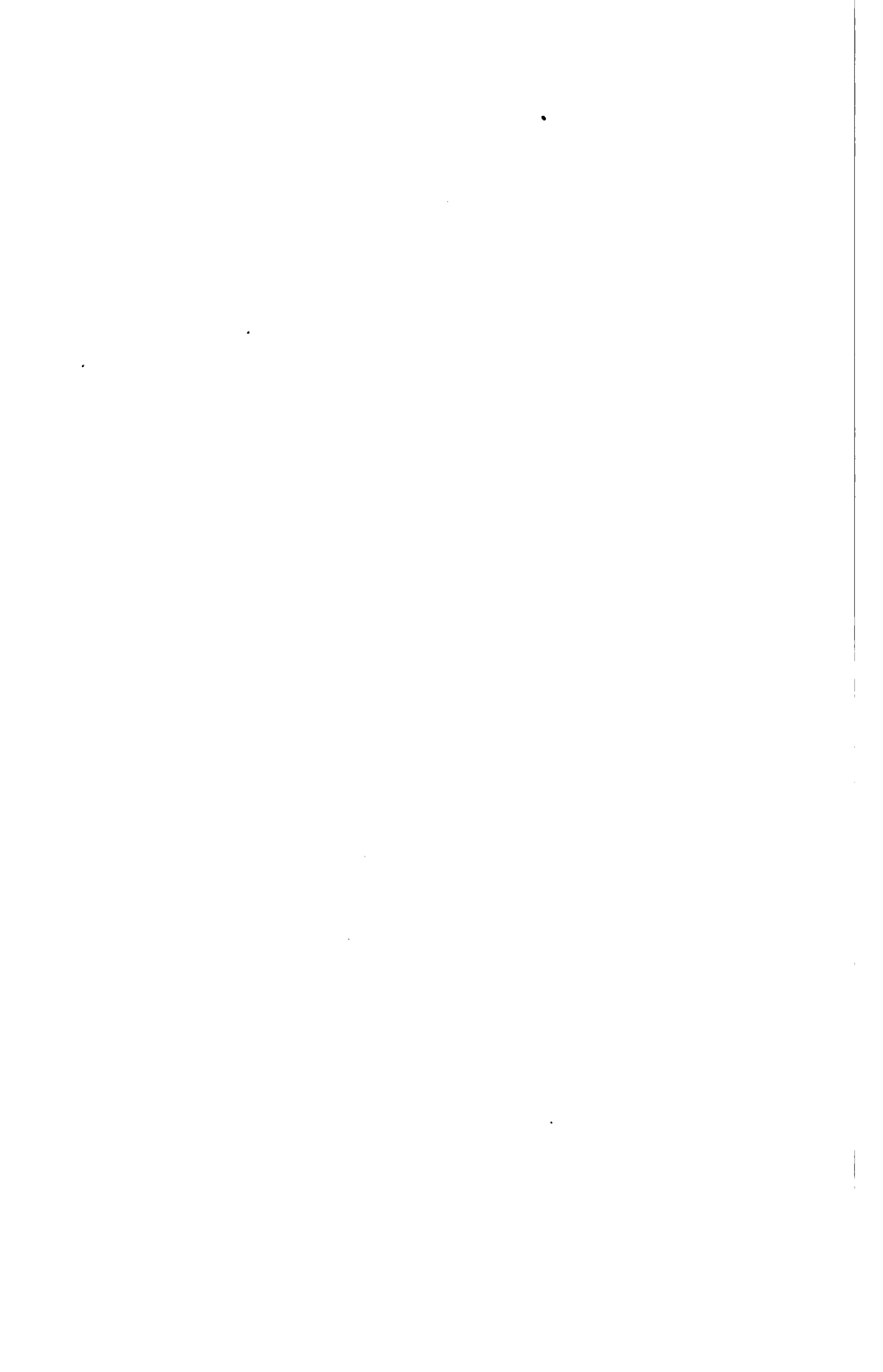


4b



4c





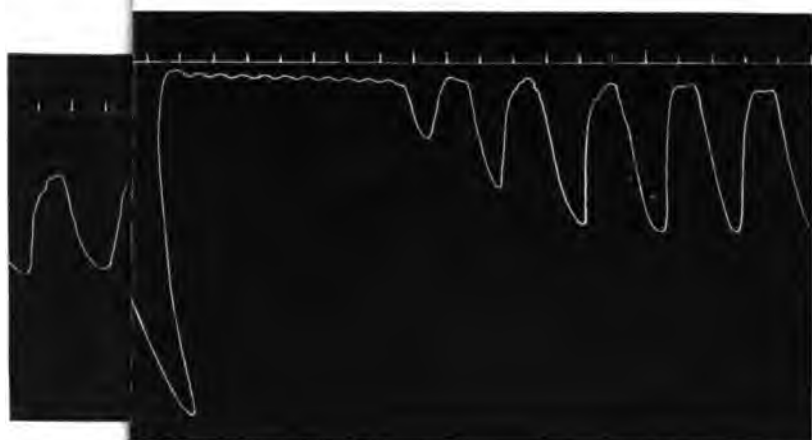
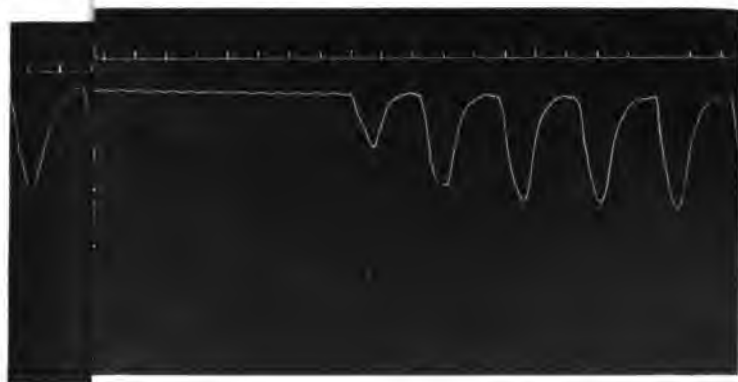


Fig. 2.





THE LIBRARY
UNIVERSITY OF CALIFORNIA
San Francisco Medical Center

THIS BOOK IS DUE ON THE LAST DATE STAMPED BELOW

Books not returned on time are subject to fines according to the Library Lending Code.

Books not in demand may be renewed if application is made before expiration of loan period.

14 DAY

NOV 23 1971
RETURNED

NOV 9 1971

7 DAY

DEC -4 1973
RETURNED

NOV 28 1973

25m-10,67(H5525s4)4128

2m-11,29

